

¡El libro sobre astronomía para todos!

Astronomía

PARA

DUMMIES®

Aprende a:

- Identificar la Osa Mayor, la Osa Menor y la Estrella Polar
- Observar eclipses y constelaciones
- Explorar el Sistema Solar, la Vía Láctea y más allá
- Comprender la teoría del Big Bang, qué son los quásares, la antimateria o la energía oscura

Stephen P. Maran

*Condecorado con la Medalla de la NASA
por logros extraordinarios*





Libro proporcionado por el equipo

Le Libros

Visite nuestro sitio y descarga esto y otros miles de libros

<http://LeLibros.org/>

[Descargar Libros Gratis, Libros PDF, Libros Online](#)

¿Sabes cuál es la diferencia entre una estrella gigante roja y una enana blanca? Meteoritos, agujeros negros, sondas espaciales o vida extraterrestre son conceptos que aparecen a menudo en las noticias, pero que a lo mejor no sabes exactamente qué son o cómo se estudian. Tienes entre tus manos un libro estupendo para descubrir el fascinante mundo de las estrellas y los planetas y las últimas investigaciones de la NASA, la Agencia Espacial Europea y demás instituciones que estudian los astros. Además, incluye gráficos y mapas estelares para que no te sientas perdido en este universo.

L  LIBROS

Stephen P. Maran

Astronomía para dummies

Para Sally, Michael, Enid y Elissa, con todo mi cariño

Agradecimientos del autor

En primer lugar, quiero dar las gracias a mi familia y amigos, quienes me soportaron mientras escribía este libro. Gracias también a mi agente, Skip Barker, que me animó a escribir esta obra y me guió a lo largo de este proyecto, y a Stacy Collins por la fe que tuvo en el proyecto original y a Lindsay Lefevre, por apoyar esta edición sustancialmente revisada.

Agradezco a Ron Cowen y al doctor Seth Shostak las aportaciones que hicieron a este libro; a Kathy Cox, Georgette Beatty, Josh Dials y Jennifer Moore, que lo organizaran y revisaran; y a sus hábiles compañeros de los equipos de edición y producción de Wiley Publishing, que hicieron que el libro fuera mejor y más brillante. Quiero dar las gracias especialmente a Laurence Marschall, quien, con sus sugerencias, mejoró la precisión y la rigurosidad del libro.

Gracias también a las organizaciones que proporcionaron las fotografías de este libro y al creador de los mapas celestes, Robert Miller.

Asimismo, agradezco los útiles consejos que he recibido de muchos expertos para esta nueva edición (la tercera en Estados Unidos), principalmente, al profesor Richard Mushotzky sobre los agujeros negros, a los doctores Marc Kuchner y Rory Barnes sobre los exoplanetas y al doctor Shostak sobre la búsqueda de inteligencia extraterrestre.

Algunos dibujos de esta obra fueron inspirados por la doctora Dinah L. Moche y su excelente libro, publicado también por Wiley. La doctora Moche merece un profundo agradecimiento por el apoyo que ha brindado a este libro y por su dedicación para hacer que la ciencia de la astronomía sea accesible para todo el mundo.

Introducción

La astronomía es el estudio del cielo, la ciencia de los objetos cósmicos y fenómenos celestes. Es nada menos que la investigación de la naturaleza del universo en el que vivimos. Para que avance la astronomía, los astrónomos observan y escuchan (en el caso de los radioastrónomos), utilizan telescopios de jardín, enormes instrumentos en observatorios y satélites que orbitan alrededor de la Tierra o que están en el espacio cerca de la Tierra o de otro cuerpo celeste, como la Luna o algún planeta. Los científicos envían telescopios en cohetes sonda y en globos no tripulados; algunos instrumentos se adentran en el Sistema Solar a bordo de sondas espaciales y algunas sondas recogen muestras para traerlas a la Tierra.

La astronomía puede ser una actividad profesional o de aficionados. En todo el mundo existen unos veinte mil astrónomos profesionales que se dedican a la ciencia espacial y se estima que hay alrededor de quinientos mil aficionados. Muchos de estos últimos pertenecen a clubes de astronomía de ámbito local o nacional de sus países.

Los astrónomos profesionales realizan investigaciones sobre el Sol y el Sistema Solar, la galaxia de la Vía Láctea y el universo que hay más allá. Enseñan en universidades, diseñan satélites en laboratorios del gobierno y trabajan en planetarios. También escriben libros, como éste (pero quizá no tan buenos). La mayoría de ellos están doctorados y hoy en día, como tantos estudian física abstrusa o trabajan con telescopios automatizados y que funcionan por control remoto, puede que ni siquiera conozcan las constelaciones.

Los aficionados a la astronomía conocen las constelaciones. Comparten una afición emocionante. Algunos observan las estrellas por su cuenta, y miles de ellos se apuntan a clubes de astronomía y a organizaciones de todo tipo. En el club, los veteranos transmiten su conocimiento a los nuevos, se comparten telescopios y equipos, y se celebran reuniones en las que los miembros comentan sus observaciones o asisten a conferencias impartidas por científicos visitantes.

Los aficionados a la astronomía también se reúnen para hacer observaciones. Cada uno lleva un telescopio, o utiliza el de otro observador. Los aficionados realizan sesiones a intervalos regulares (por ejemplo, el primer sábado de cada

mes) o en ocasiones especiales (por ejemplo, en agosto, porque se va a producir una lluvia de meteoros o porque aparecerá un cometa brillante, como el Hale-Bopp). Y ahorran para presenciar fenómenos realmente grandiosos, como un eclipse total de Sol, cuando miles de aficionados y decenas de profesionales viajan por la Tierra para colocarse en el camino de la totalidad y ser testigos de uno de los mayores espectáculos de la naturaleza.

Acerca de este libro

En este libro encontrarás todo lo que necesitas saber para lanzarte a la gran afición de la astronomía y la ayuda para comprender la ciencia básica del universo. Las últimas misiones espaciales tendrán más sentido para ti: entenderás por qué la NASA y otras organizaciones envían sondas espaciales a planetas como Saturno, por qué los vehículos robóticos de exploración aterrizan en Marte y por qué los científicos analizan muestras de polvo en la cola de los cometas. Sabrás por qué el telescopio espacial Hubble observa el espacio y cómo estar al día de otras misiones espaciales. Y cuando salgan los astrónomos en el periódico o en la televisión para presentar sus últimos descubrimientos (desde el espacio, desde los grandes telescopios de Arizona, Hawái, Chile y California; o desde radiotelescopios de Nuevo México, Puerto Rico, Australia u otros observatorios del mundo), comprenderás el contexto y valorarás las noticias. Incluso se las podrás explicar a tus amigos.

Lee las partes que quieras y en el orden que prefieras. Te explicaré lo que necesitas sobre la marcha. La astronomía es fascinante y divertida, así que sigue leyendo. Antes de darte cuenta, estarás señalando hacia Júpiter, viendo estrellas y constelaciones famosas y siguiendo la Estación Espacial Internacional cuando pase por el cielo como un rayo. Quizá los vecinos empiecen a llamarte “observador de estrellas”. Los policías quizá te pregunten qué haces en el parque de noche, por qué te has subido a la azotea o por qué llevas unos prismáticos en la mano. Diles que eres astrónomo. Seguro que nunca lo han oído (¡y espero que te crean!).

Convenciones utilizadas en este libro

Para ayudarte a navegar por este libro mientras navegas por el espacio, te explicaré cuáles son las convenciones que he utilizado en él:

✓ *Cursiva* para destacar palabras nuevas o poco comunes, que van

acompañadas por su definición.

- ✓ **Negrita** para indicar palabras clave en listas con puntos y la acción de los pasos numerados.
- ✓ **Courier Monotype**, para que identifiques a simple vista las direcciones web.

Lo que no es obligatorio leer

Puedes saltarte los recuadros grises que aparecen a lo largo del libro; estas cajas contienen información interesante pero que no es esencial para que comprendas la astronomía. Lo mismo ocurre con cualquier texto que marco con el icono de *Información técnica*.

Algunas suposiciones previas

Quizá leas este libro porque quieres saber qué pasa en el cielo o qué hacen los científicos del programa espacial. Puede que hayas oído que la astronomía es una afición fantástica y quieras descubrir si lo que dicen es verdad. A lo mejor quieres saber qué equipo necesitas.

No eres científico. Simplemente, te ha hechizado el cielo de noche, disfrutas observándolo y quieres ver y comprender la verdadera belleza del universo.

Quieres observar las estrellas, pero también saber qué estás viendo. Quizá incluso quieras hacer algún descubrimiento. No tienes que ser astrónomo para descubrir un nuevo cometa, incluso puedes ayudar a escuchar a E. T. Sea cual sea tu objetivo, este libro te ayudará a conseguirlo.

Iconos utilizados en este libro

A lo largo del libro, encontrarás iconos que destacan una información en particular, aunque sólo te indiquen que no es necesario que leas las partes complicadas. Aquí tienes el significado de cada símbolo.



La observación es la clave de la astronomía, y estos consejos te ayudarán a ser un profesional de la observación. Te ayudará a descubrir técnicas

y circunstancias para perfeccionar tu técnica de observación.



Este cerebritito aparece al lado de textos que te puedes saltar si sólo quieres conocer lo básico y empezar a observar el cielo. Puede estar bien tener un contexto científico, pero muchas personas son felices disfrutando de observar las estrellas sin conocer la física de las supernovas, las matemáticas utilizadas para la caza de galaxias ni los pormenores de la energía oscura.



Este icono con forma de diana te indica que aproveches información privilegiada cuando empieces a observar el cielo o cuando avances en tu afición.



¿Cuántos problemas te puedes encontrar al observar estrellas? No muchos, si tienes cuidado. Pero hay cosas en las que nunca se es demasiado prudente. Esta bomba te indica que prestes atención para no quemarte.

¿Por dónde empezar?

Puedes empezar donde quieras. ¿Te preocupa el destino del universo? Empieza por el Big Bang (consulta el capítulo 16 si realmente te interesa).

O quizá quieras comenzar por saber qué puedes esperar cuando se despierta esa pasión por las estrellas.

Da igual por dónde empieces, espero que continúes tu exploración cósmica y experimentes la alegría, la emoción y la fascinación que siempre ha encontrado el ser humano en el cielo.

Parte I

Observemos el cosmos

The 5th Wave

Rich Tennant



En esta parte...

Los objetos y los fenómenos del cielo siempre han fascinado a los seres humanos. A lo largo de la historia, nuestro interés por la astronomía ha sido fruto de la curiosidad y de objetivos prácticos. Las personas navegaban siguiendo a las estrellas y cultivaban los campos según las fases de la Luna (y siguen haciéndolo). Se construían lugares en los que las observaciones del cielo pudieron haber acompañado a rituales (como en Stonehenge, Inglaterra) y se medía el tiempo según los movimientos del Sol y las estrellas. Los seres humanos siguen planteándose preguntas sobre la naturaleza de los objetos del cielo.

Únete a esta gran tradición humana. En este apartado, te introduciré en la ciencia de la astronomía y te ofreceré técnicas y consejos para observar planetas, cometas, meteoros y otros elementos que se pueden ver en el cielo nocturno.

Capítulo 1

Cómo ver la luz: el arte y la ciencia de la astronomía

En este capítulo

- ▶ Comprenderás la naturaleza observacional de la astronomía
 - ▶ Te concentrarás en el lenguaje de la luz de la astronomía
 - ▶ Aprenderás en qué consiste la gravedad
 - ▶ Reconocerás los movimientos de los objetos en el espacio
-

Sal fuera en una noche clara y mira el cielo. Si vives en una ciudad o en un barrio muy poblado, verás docenas, quizá cientos, de estrellas brillantes. En función del día del mes que sea, puede que veas la luna llena y hasta cinco de los ocho planetas que giran alrededor del Sol.

Quizá aparezca una estrella fugaz o “meteoro” en el cielo. En realidad, lo que ves es el destello de luz de una pieza diminuta de polvo de cometa que pasa a toda velocidad por la atmósfera.

Otro puntito de luz se mueve de forma lenta y constante por el cielo. ¿Es un satélite espacial, como el telescopio espacial *Hubble*, o un avión de pasajeros que vuela a una gran altitud? Si tienes unos prismáticos, quizá puedas diferenciarlos: la mayoría de los aviones de pasajeros tienen luces de dirección y sus formas pueden percibirse.

Si vives en el campo, o en la costa, lejos de centros turísticos y urbanizaciones, en una zona de llanuras o en la montaña, lejos de pistas de esquí iluminadas, puedes ver miles de estrellas. La Vía Láctea parece una preciosa franja nacarada que surca el cielo. Lo que ves es el brillo acumulado de millones de estrellas que no se pueden distinguir por separado a simple vista. En un lugar de observación, como el Observatorio Interamericano de Cerro Tololo, en los Andes chilenos, puedes ver más estrellas. Parecen lámparas brillantes que cuelgan de un cielo negro carbón. A menudo ni siquiera parpadean, como en el

cuadro de Van Gogh *La noche estrellada*.

Cuando miras hacia el cielo, estás practicando la astronomía, y a que observas el universo que te rodea e intentas comprender lo que ves. Durante miles de años, todo lo que sabían las personas sobre el cielo lo habían deducido a partir de la observación. Casi todo lo que estudia la astronomía tiene las siguientes características:

- ✓ Se ve a distancia.
- ✓ Se descubre estudiando la luz que llega a nosotros desde los objetos que hay en el espacio.
- ✓ Se mueve a través del espacio bajo la influencia de la gravedad.

En este capítulo se incluye una introducción a esos (y a otros) conceptos.

Astronomía: la ciencia de la observación

La *astronomía* es el estudio del cielo, la ciencia de los objetos cósmicos y los fenómenos celestes, y la investigación sobre la naturaleza del universo en el que vives. Los astrónomos profesionales desarrollan la astronomía mediante la observación con telescopios que capturan luz visible de las estrellas o a través de la captura de ondas de radio que proceden del espacio. Utilizan telescopios de jardín, enormes instrumentos de observatorio y satélites que orbitan alrededor de la Tierra. Recogen formas de luz (como radiación ultravioleta) que la atmósfera bloquea antes de que lleguen al suelo. Envían telescopios en cohetes sonda (equipados con instrumentos para hacer observaciones científicas a altitud elevada) y en globos no tripulados. Y envían instrumentos por todo el Sistema Solar a bordo de sondas espaciales.

Los astrónomos profesionales estudian el Sol y el Sistema Solar, la Vía Láctea y el universo que hay más allá. Enseñan en universidades, diseñan satélites en laboratorios gubernamentales y trabajan en planetarios. También escriben libros (como yo, tu héroe *Para Dummies*). La mayoría ha dedicado años a estudiar y han hecho doctorados. Muchos de ellos estudian física compleja o trabajan con telescopios robóticos automatizados que llegan más allá del cielo nocturno reconocible a nuestros ojos. Quizá nunca hayan estudiado las *constelaciones* (grupos de estrellas, como la Ursa Major, la Osa Mayor, bautizada así por antiguos observadores de estrellas) que es lo primero que exploran los aficionados a la astronomía.

Puede que ya estés familiarizado con el Carro, un asterismo de la Ursa Major. Un *asterismo* es un grupo de estrellas al que se ha dado un nombre y que no coincide con ninguna de las 88 constelaciones reconocidas. Un asterismo puede estar dentro de una única constelación o incluir estrellas de más de una constelación. Por ejemplo, las cuatro esquinas del Gran Cuadrado de Pegaso, un gran asterismo, están marcadas por tres estrellas de la constelación Pegaso y por una cuarta de Andrómeda. En la figura 1-1 se muestra el Carro en el cielo nocturno (en los países anglosajones el asterismo del Carro se conoce como *Big Dipper*, Gran Cucharón, o a veces como Arado).



Figura 1-1:

El Carro, que se encuentra en Ursa Major, es un asterismo

Además de los aproximadamente treinta mil astrónomos profesionales que existen en todo el mundo, hay varios cientos de miles de aficionados a la astronomía que disfrutan observando el cielo. Los aficionados a la astronomía suelen conocer las constelaciones y las utilizan como referencia cuando exploran el cielo a simple vista o bien con la ayuda de prismáticos o telescopios. Muchos aficionados también hacen útiles aportaciones científicas. Controlan los cambios de brillo de las estrellas variables; descubren asteroides, cometas y estrellas en explosión; y cruzan la Tierra para captar las sombras que dejan los asteroides al pasar por delante de estrellas brillantes (así, ayudan a los astrónomos a dibujar la forma de los asteroides). Incluso se unen a proyectos de investigación profesional con sus ordenadores personales y *smartphones* a través de proyectos de ciencia ciudadana, que describo en el capítulo 2 y en otros puntos del libro.

En el resto de la parte I, te ofrezco información sobre cómo observar el cielo de forma efectiva y divertida.

Lo que ves: el lenguaje de la luz

La luz nos aporta información sobre los planetas, lunas y cometas de nuestro Sistema Solar; las estrellas, cúmulos de estrellas y nebulosas de nuestra galaxia; y de los objetos que hay más allá.

En la Antigüedad, la gente no pensaba en la física y la química de las estrellas, sino que absorbían y transmitían mitos e historias populares: la Osa Mayor, la estrella endemoniada, la Cara de la Luna, el dragón que se come al Sol durante un eclipse solar y otras más. Las historias varían de una cultura a otra. Sin embargo, muchas personas descubrieron las figuras que formaban las estrellas. En la Polinesia, los expertos navegantes remaban a través de cientos de kilómetros de océano abierto sin puntos de referencia a la vista y sin brújula. Navegaban siguiendo las estrellas y el Sol, gracias a su conocimiento de los vientos y corrientes.



En la Antigüedad, miraban fijamente la luz de una estrella y observaban su brillo, color y posición en el cielo. Esta información les ayudaba a distinguir un objeto celeste de otro, y tanto entonces como ahora nos permite conocerlos como a un viejo amigo. Aquí tienes algunas ideas para reconocer y describir lo que ves en el cielo:

- ✓ Distingue las estrellas de los planetas.
- ✓ Identifica constelaciones, estrellas individuales y otros objetos celestes por su nombre.
- ✓ Observa el brillo (dado como magnitud).
- ✓ Comprende el concepto de año luz.
- ✓ Sitúa la posición en el cielo (medido en unidades especiales denominadas AR y Dec).

Preguntas planteadas mientras viajaban: diferencias entre planetas y estrellas

El término *planeta* procede de la palabra griega *planetes*, que significa “errante”. En la antigua Grecia (y otros pueblos de la Antigüedad) se dieron cuenta de que había cinco puntos de luz que se movían a través del resto de las estrellas, fijas en el cielo. Algunas se movían constantemente hacia adelante; otras, de vez en cuando daban marcha atrás. Nadie sabía por qué. Pero aquellos puntos de luz no parpadeaban como las estrellas (nadie entendía la diferencia). Cada cultura tenía un nombre para aquellos cinco puntos de luz que ahora denominamos planetas. Sus nombres son Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. Estos cuerpos celestes no viajan a través de las estrellas, sino que orbitan alrededor del Sol, la estrella central de nuestro Sistema Solar.



Hoy en día, los astrónomos saben que los planetas pueden ser menores o mayores que la Tierra, pero todos son mucho más pequeños que el Sol. Los planetas de nuestro Sistema Solar están tan cerca de la Tierra que tienen discos perceptibles (como mínimo, cuando se observan a través de un telescopio), así que podemos ver su forma y tamaño. Las estrellas están tan lejos de la Tierra que incluso, aunque las veas a través de un potente telescopio, aparecen como puntos de luz. (Para obtener más información sobre los planetas del Sistema Solar, ve a la parte II.)

Si ves una Osa Mayor, preocúpate: cómo poner nombre a estrellas y constelaciones

Cuando los visitantes miran las estrellas en el planetario, les digo: “Si no podéis ver la Osa Mayor ahí arriba, no os preocupéis. Quizá deberían preocuparse los que *sí* que ven una Osa Mayor”.

Los astrónomos de la Antigüedad dividían el cielo en figuras imaginarias, como la Ursa Major (la Osa Mayor), Cygnus (el Cisne), Andromeda (Andrómeda, la Mujer encadenada) y Perseus (Perseo, el Héroe). Entonces, identificaban a cada figura con una formación de estrellas. La verdad es que, para la mayoría de las personas, Andrómeda no se parece a una señora encadenada, ni a ninguna otra cosa, en realidad (consulta la figura 1-2).

Hoy en día, los astrónomos han dividido el cielo en 88 constelaciones que contienen todas las estrellas que pueden verse. La Unión Astronómica Internacional, que controla esta ciencia, establece límites para las constelaciones, para que los astrónomos puedan ponerse de acuerdo sobre qué estrella está en cada constelación. En el pasado, los mapas celestes trazados por distintos

astrónomos solían discrepar. Ahora, cuando tú leas que la nebulosa Tarántula está en Dorado (consulta el capítulo 12), sabes que, para ver esta nebulosa, debes buscarla en la constelación Dorado, en el hemisferio sur.

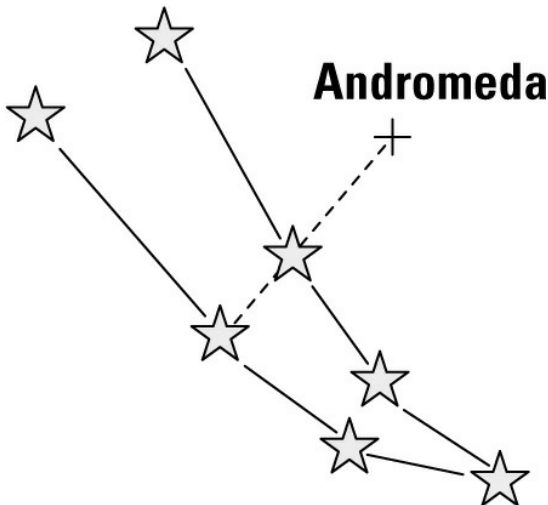


Figura 1-2:

Andrómeda también se conoce como la Mujer encadenada

La mayor constelación es Hydra (la Serpiente acuática). La menor es Crux (la Cruz) que la mayoría de la gente denomina Cruz del Sur. También puedes ver la Cruz del Norte, pero no la encontrarás en una lista de las constelaciones; es un asterismo (término ya definido) dentro de Cygnus (el Cisne). A pesar de que los astrónomos suelen estar de acuerdo sobre los nombres de las constelaciones, no existe consenso respecto al significado de cada nombre. Por ejemplo, algunos astrónomos denominan Pez Espada a Dorado, pero a mí, personalmente, me gustaría acabar con ese nombre. Una constelación, Serpens (la Serpiente), se rompe en dos secciones que no están conectadas. Las dos secciones, situadas a

cada lado del Ofiuco (el Portador de la serpiente), son Serpens Caput (la Cabeza de la serpiente) y Serpens Cauda (la Cola de la serpiente).

Las estrellas individuales de una constelación no suelen tener más relación que su proximidad en el cielo tal como lo vemos desde la Tierra. En el espacio, las estrellas que forman una constelación pueden no mantener relación entre sí, ya que algunas están relativamente cerca de la Tierra y otras se encuentran a distancias mucho mayores en el espacio. Sin embargo, para los observadores de la Tierra forman una figura sencilla que nos permite disfrutarlas.

Por regla general, a las estrellas más brillantes de una constelación se les asignó una letra griega, ya fueran los griegos de la Antigüedad o astrónomos de civilizaciones posteriores. En cada constelación, la estrella más brillante recibía el nombre de Alfa, la primera letra del alfabeto griego.

La siguiente estrella más brillante era Beta, la segunda letra griega, y así sucesivamente hasta llegar a Omega, la última letra del alfabeto griego de 24 caracteres. (Los astrónomos sólo utilizaban las letras griegas minúsculas, por eso las ves escritas α , β ... ω .)

Por tanto, Sirio, la estrella más brillante del cielo nocturno (en Canis Major, el Can Mayor) recibe el nombre de Alfa Canis Majoris. (Los astrónomos añaden un sufijo aquí o allá para poner a los nombres de las estrellas en el caso genitivo del latín. A los científicos siempre les ha gustado el latín.) En la tabla 1-1, se muestra una lista del alfabeto griego, en orden, con los nombres de las letras y sus símbolos correspondientes.

Tabla 1-1. El alfabeto griego

<i>Letra</i>	<i>Nombre</i>
α	Alfa
β	Beta
γ	Gamma
δ	Delta
ϵ	Épsilon
ζ	Dseda
η	Eta
θ	Zeta
ι	Iota
κ	Kappa
λ	Lambda
μ	Mi
ν	Ni
ξ	Xi
$\omicron$	Ómicron
π	Pi
ρ	Ro
σ	Sigma
τ	Tau
υ	Ípsilon
φ	Fi
χ	Ji
ψ	Psi
ω	Omega



Cuando miras un atlas de estrellas, descubres que las de una

constelación no están marcadas como α Canis Majoris, β Canis Majoris, y así sucesivamente. Por lo general, el creador del atlas marca el área de toda la constelación como Canis Major y denomina a las estrellas concretas α , β , y así sucesivamente. Cuando consultes información acerca de una estrella en una lista de objetos que observar, por ejemplo, en una revista de astronomía (consulta el capítulo 2), probablemente no la verás clasificada como Alfa Canis Majoris ni siquiera α Canis Majoris, sino que, para ahorrar espacio, la revista lo publica como α CMA; *CMA* es la abreviación de tres letras de Canis Majoris (y también se utiliza para abreviar Canis Major). Te ofrezco la abreviatura de cada una de las constelaciones en la tabla 1-2.

Los astrónomos no acuñaron nombres especiales como Sirio para cada estrella de Canis Major, así que les asignaron letras griegas u otros símbolos. De hecho, algunas constelaciones no tienen ni una estrella bautizada. (No caigas en la trampa de esos anuncios en los que ofrecen poner nombre a una estrella a cambio de un precio. La Unión Astronómica Internacional no reconoce los nombres de estrellas comprados.) En otras constelaciones, los astrónomos asignaron letras griegas, pero podían ver más de 24, que es el número de letras del alfabeto griego. Por lo tanto, los astrónomos asignaron a algunas estrellas números arábigos, letras del alfabeto latino o números de catálogos profesionales. Por eso, hay estrellas que se llaman 61 Cygni, b Vulpeculae, HR 1516, etc. Puede que incluso te encuentres con nombres de estrellas como RU Lupi y YY Sex (no me lo estoy inventando) pero, como ocurre con cualquier estrella, las puedes reconocer por la posición que ocupan en el cielo (tal como aparecen en las listas de estrellas), su brillo, su color o por otras propiedades, si no lo haces por sus nombres.

Hoy en día, si miras las constelaciones, puedes ver muchas excepciones a la regla de que los nombres de las letras griegas corresponden al brillo de dichas estrellas en una constelación. Las excepciones existen porque:

- ✓ Los nombres de letras se basaban en imprecisas observaciones del brillo que se hacían a simple vista.
- ✓ Con los años, los autores de los atlas de estrellas cambiaban los límites de las constelaciones, de modo que algunas estrellas pasaban de una constelación a otra que incluía estrellas que ya estaban bautizadas.
- ✓ Algunos astrónomos identificaron constelaciones pequeñas y del hemisferio sur después del período griego, y no siempre siguieron la práctica de designarlas mediante letras.
- ✓ El brillo de algunas estrellas ha cambiado con los siglos desde que se registraron en la antigua Grecia.

Un ejemplo bueno (o malo) es la constelación Vulpecula (la Zorra), en la que sólo una estrella (alfa) tiene una letra griega.

Dado que alfa no siempre es la estrella más brillante de una constelación, los astrónomos necesitaban otro término para describir ese estado, y eligieron la palabra *lucida* (del latín *lucidus*, que significa “brillo” o “brillante”). La estrella más brillante de Canis Major es Sirio, la estrella alfa, pero la estrella más brillante de Orion (el Cazador), es Rigel, que es Beta Orionis. La estrella más brillante de Leo Minor, León Menor (una constelación particularmente discreta), es 46 Leonis Minoris.

En la tabla 1-2, aparecen las 88 constelaciones, la estrella más brillante de cada una y la magnitud de esa estrella. La *magnitud* es la medida del brillo de una estrella (más adelante, en el apartado “Cuanto más pequeño, más brillante: cómo llegar a la raíz de las magnitudes”, hablaré más sobre este tema). Cuando la estrella más brillante de una constelación es la estrella alfa y tiene nombre, sólo pongo el nombre. Por ejemplo, en Auriga, el Cochero, la estrella más brillante, Alfa Aurigae, es Capella. En cambio, cuando la estrella más brillante no es alfa, indico su letra griega u otra designación entre paréntesis. Por ejemplo, la estrella más brillante de Cancer (el Cangrejo) es Altarf, que es Beta Cancri.

Tabla 1-2. Las constelaciones y sus estrellas más brillantes

<i>Nombre</i>	<i>Abreviatura</i>	<i>Significado</i>	<i>Estrella</i>	<i>Magnitud</i>
Andromeda	And	Andrómeda (la Mujer encadenada)	Alferatz	2,1
Antlia	Ant	Máquina neumática	Alfa Antliae	4,3
Apus	Aps	Ave del paraíso	Alfa Apodis	3,8
Aquarius	Aqr	Acuario (el portador de agua)	Sadalmelik	3,0
Aquila	Aql	Águila	Altair	0,8
Ara	Ara	Altar	Altar Beta	2,9
Aries	Ari	Carnero	Hamal	2,0
Auriga	Aur	Auriga (el cochero, conductor de carro de combate o de carreras)	Capella	0,1
Bootes	Boo	Boyero (el pastor de bueyes)	Arturo	-0,04
Caelum	Cae	Cinzel	Alfa Caeli	4,5
Camelopardalis	Cam	Jirafa	Beta Camelopardalis	4,0
Cancer	Cnc	Cáncer (el cangrejo)	Altarf (Beta Cancri)	3,5

(continúa)

(continuación)

Nombre	Abreviatura	Significado	Estrella	Magnitud
Canes Venatici	CVn	Lebreles (los perros de caza)	Cor Caroli	2,8
Canis Major	CMa	Can Mayor	Sirio	-1,5
Canis Minor	CMi	Can Menor	Proción	0,4
Capricornus	Cap	Capricornio (la cabra)	Deneb Algedi (Delta Capricorni)	2,9
Carina	Car	Quilla	Canopus	-0,7
Cassiopeia	Cas	Casiopea (la reina)	Schedar	2,2
Centaurus	Cen	Centauro	Rigil Kentaurus	-0,3
Cepheus	Cep	Cefeo (el rey)	Alderamin	2,4
Cetus	Cet	Ballena	Deneb Kaitos (Beta Ceti)	2,0
Chamaeleon	Cha	Camaleón	Alfa Chamaeleontis	4,1
Circinus	Cir	Compás	Alfa Circini	3,2
Columba	Col	Paloma	Phakt	2,6
Coma Berenices	Com	Cabellera de Berenice	Beta Comae Berenices	4,3
Corona Australis	CrA	Corona Austral	Alfa Coronae Australis	4,1
Corona Borealis	CrB	Corona Boreal	Alphekka	2,2
Corvus	Crv	Cuervo	Gienah (Gamma Corvi)	2,6
Crater	Crt	Copa	Delta Crateris	3,6
Crux	Cru	Cruz	Acrux	0,7
Cygnus	Cyg	Cisne	Deneb	1,3
Delphinus	Del	Delfín	Rotanev (Beta Delphini)	3,6
Dorado	Dor	Dorado	Alfa Doradus	3,3
Draco	Dra	Dragón	Tuban	3,7
Equuleus	Equ	Caballito	Kitalpha	3,9
Eridanus	Eri	Erídano (el río)	Achernar	0,5
Fornax	For	Crisol	Alfa Fornacis	3,9

(continúa)

(continuación)

Nombre	Abreviatura	Significado	Estrella	Magnitud
Gemini	Gem	Gemelos	Pólux (Beta Geminorum)	1,1
Grus	Gru	Grulla	Alnair	1,7
Hercules	Her	Hércules	Ras Algethi	2,6
Horologium	Hor	Reloj	Alfa Horologii	3,9
Hydra	Hay	Hidra (la serpiente acuática)	Alfard	2,0
Hydrus	Hyi	Hidra Macho (la pequeña serpiente acuática)	Beta Hydri	2,8
Indus	Ind	Indio	Alfa Indi	3,1
Lacerta	Lac	Lagarto	Alfa Lacertae	3,8
Leo	Leo	León	Régulo	1,4
Leo Minor	LMi	León Menor	Praecipua (46 Leo Minoris)	3,8
Lepus	Lep	Liebre	Arneb	2,6
Libra	Lib	Balanza	Zubeneschemali (Beta Librae)	2,6
Lupus	Lup	Lobo	Alfa Lupus	2,3
Lynx	Lyn	Lince	Alfa Lyncis	3,1
Lyra	Lyr	Lira	Vega	0,0
Mensa	Men	Mesa	Alfa Mensae	5,1
Microscopium	Mic	Microscopio	Gamma Microscopii	4,7
Monoceros	Mon	Unicornio	Beta Monocerotis	3,7
Musca	Mus	Mosca	Alfa Muscae	2,7
Norma	Nor	Escuadra	Gamma Normae	4,0
Octans	Oct	Octante	Nu Octantis	3,8
Ophiuchus	Oph	Ofiuco (el portador de la serpiente)	Rasalhague	2,1
Orion	Ori	Orión (el cazador)	Rigel (Beta Orionis)	0,1
Pavo	Pav	Pavo	Alfa Pavonis	1,9
Pegasus	Peg	Pegaso (caballo alado)	Enif (Epsilon Pegasi)	2,4

(continúa)

(continuación)

Nombre	Abreviatura	Significado	Estrella	Magnitud
Perseus	Per	Perseo (el héroe)	Mirfak	1,8
Phoenix	Phe	Fénix	Ankaa	2,4
Pictor	Pic	Caballote de pintor	Alfa Pictoris	3,2
Piscis	Psc	Piscis (los peces)	Eta Piscium	3,6
Pisces Austrinus	PsA	Pez Austral	Fomalhaut	1,2
Puppis	Pup	Popa	Zeta Puppis	2,3
Pyxis	Pyx	Brújula	Alfa Pyxidis	3,7
Reticulum	Ret	Retículo	Alfa Reticuli	3,4
Sagitta	Sge	Flecha	Gamma Sagittae	3,5
Sagittarius	Sgr	Sagitario (el arquero)	Kaus Australis (Epsilon Sagittarii)	1,9
Scorpius	Sco	Escorpión	Antares	1,0
Sculptor	Scl	Escultor	Alfa Sculptoris	4,3
Scutum	Sct	Escudo	Alfa Scuti	3,9
Serpens	Ser	Serpiente	Unukalhai	2,7
Sextans	Sex	Sextante	Alfa Sextantis	4,5
Taurus	Tau	Tauro (el toro)	Aldebarán	0,9
Telescopium	Tel	Telescopio	Alfa Telescopium	3,5
Triangulum	Tri	Triángulo	Beta Trianguli	3,0
Triangulum Australe	TrA	Triángulo Austral	Alfa Trianguli Australis	1,9
Tucana	Tuc	Tucán	Alfa Tucanae	2,9
Ursa Major	UMa	Osa Mayor	Alioth (Epsilon Ursae Majoris)	1,8
Ursa Minor	UMi	Osa Menor	Polaris	2,0
Vela	Vel	Vela	Suhail al Muhlif (Gamma Velorum)	1,8
Virgo	Vir	Virgo (la virgen)	Spica	1,0
Volans	Vol	Pez volador	Gamma Volantis	3,6
Vulpecula	Vul	Zorra	Anser	4,4

Te resultaría mucho más fácil identificar estrellas si tuvieran pequeñas

etiquetas con el nombre que pudieras ver a través del telescopio, pero, como mínimo, no es una cifra indeterminada, como el número de estrellas de Hollywood. Si tienes un *smartphone*, puedes descargar una aplicación que identifique las estrellas por ti. Basta con que descargues un mapa celeste o una *app* de planetario (como Sky Safari, Star Walk, o Google Sky Map) y enfoques el cielo con el teléfono. La aplicación genera un mapa de las constelaciones en la dirección a la que se dirige tu teléfono. En algunas aplicaciones, cuando tocas la imagen de una estrella, aparece su nombre. (Describo más aplicaciones de astronomía en el capítulo 2; para ver información detallada sobre las estrellas, consulta el capítulo 11.)

¿Qué es lo que veo? Cómo identificar el catálogo Messier y otros objetos celestes

Poner nombre a las estrellas fue bastante fácil para los astrónomos. Pero ¿qué ocurre con todos esos objetos del cielo, como galaxias, nebulosas, cúmulos de estrellas y similares (que comento en la parte III)? Charles Messier (1730-1817), un astrónomo francés, creó una lista numerada de alrededor de cien objetos difusos en el cielo. Su lista se conoce como *Catálogo Messier*; y, ahora, cuando oyes que llaman a la galaxia Andrómeda por su nombre científico, M31, sabes que es el número 31 del catálogo. Actualmente, el Catálogo Messier está formado por 110 objetos.



Puedes encontrar imágenes y una lista completa de los objetos Messier en la web del Catálogo Messier de Students for the Exploration and Development of Space, en www.seds.org/messier. Y también podrás descubrir cómo obtener un certificado por ver objetos Messier de la web del Club Messier de la Liga Astronómica (Astronomical League) en www.astroleague.org/al/obsclubs/messier/mess.html.

Los aficionados a la astronomía que ya cuentan con una cierta experiencia suelen participar en maratones Messier, en las que cada uno observa todos los objetos del Catálogo Messier durante una noche. En cualquier caso, en una maratón no tienes tiempo de disfrutar de una nebulosa, cúmulos de estrellas o galaxias concretos. Mi consejo es que te lo tomes con calma y saborees cada una de estas maravillas para la vista. Hay un libro fantástico de Stephen J. O'Meara sobre los objetos Messier, en el que se incluyen consejos sobre cómo

observarlos, titulado *Deep-Sky Companions: The Messier Objects* (Cambridge University Press, 2000). En español puedes echar un vistazo a la obra *La Maratón Messier*, de Don Machholz (Akal, 2003).

Desde los tiempos de Messier, los astrónomos han confirmado la existencia de miles de *objetos del cielo profundo*, término que utilizan los aficionados para cúmulos de estrellas, nebulosas y galaxias, y que los distinguen de las estrellas y planetas. Como Messier no los registró, los astrónomos se refieren a dichos objetos por sus números, tal y como aparecen en otros catálogos. Puedes encontrar muchos de estos objetos enumerados en guías de observación y mapas de estrellas por sus números NGC (del nombre en inglés de *Nuevo Catálogo General*) y del IC (*Índice del Catálogo*). Por ejemplo, el brillante cúmulo doble de Perseo, el héroe, está formado por NGC 869 y NGC 884.



Cuando te familiarices con algunos de los objetos Messier, empieza con los objetos de Caldwell utilizando tu telescopio y habilidades de observación. Consulta la Lista de Objetos del Programa Caldwell, publicada en esta web de la Astronomical League: www.astroleague.org/al/obsclubs/caldwell/cldwlist.html. El astrónomo británico sir Patrick Moore proporciona información básica sobre una selección de 109 cúmulos de estrellas, nebulosas y galaxias para que disfrutes de su observación. Cuando leas esta lista, también te será útil consultar la obra *The Caldwell Objects and How to Observe Them*, de Martin Mobberley (Springer, 2009).

Cuanto más pequeño, más brillante: cómo llegar a la raíz de las magnitudes

Un mapa estelar, un dibujo de las constelaciones o una lista de estrellas siempre indica la magnitud de una estrella. Las magnitudes representan el brillo de las estrellas. En la antigua Grecia, Hiparco dividió todas las estrellas que veía en seis clases. A las estrellas más brillantes las llamó magnitud 1 o *primera magnitud*, y al siguiente grupo de estrellas más brillantes, estrellas de *segunda magnitud*, y así sucesivamente hasta llegar a las más tenues, las de *sexta magnitud*.

Fíjate en que, al contrario de lo que ocurre con las escalas y unidades de medida más habituales, cuanto más brillante es la estrella, menor es su magnitud. Los griegos no eran perfectos, incluso Hiparco tenía su tendón de Aquiles: en su sistema, no dejó sitio para las estrellas más brillantes cuando se medían con

precisión.

Así, hoy en día, reconocemos algunas estrellas con magnitud cero o magnitud negativa. Sirio, por ejemplo, tiene una magnitud $-1,5$. Y el planeta más brillante, Venus, a veces es de magnitud -4 (el valor exacto difiere, en función de la distancia a la que esté Venus de la Tierra en ese momento y su dirección respecto al Sol).



Por los números: las matemáticas del brillo

Las estrellas de primera magnitud son alrededor de cien veces más brillantes que las de sexta magnitud. De hecho, las estrellas de primera magnitud son unas 2,512 veces más brillantes que las de segunda magnitud, que son alrededor de 2,512 veces más brillantes que las de tercera magnitud, y así sucesivamente. (En la sexta magnitud, se llega a algunos números grandes: las estrellas de primera magnitud son unas cien veces más brillantes.) Los matemáticos que leáis esto reconoceréis que se trata de una *progresión geométrica*. Cada magnitud es la raíz quinta de 100 (es decir, cuando multiplicas un número por sí mismo cuatro veces, por ejemplo, $2,512 \times 2,512 \times 2,512 \times 2,512$, el resultado es 100). Si dudas de mi palabra y haces el cálculo por tu cuenta, te dará una respuesta un poco distinta porque no he tenido en cuenta algunos decimales.

Por lo tanto, puedes calcular lo tenue que es una estrella en comparación con otra partiendo de su magnitud. Si dos estrellas están a cinco magnitudes de diferencia (por ejemplo, una está en la primera y la otra, en la sexta), se diferencian por un factor de 2,5125 (2,512 elevado a la quinta potencia), y una buena calculadora de bolsillo te muestra que una estrella es cien veces más brillante. Si dos estrellas están a seis magnitudes de distancia, una es alrededor de doscientas cincuenta veces más brillante que la otra. Y, si deseas comparar, por ejemplo, una estrella de primera magnitud con una de magnitud 11, computas una diferencia de 2,51210 en el brillo, que es un factor de 1002, o 10.000.

El objeto más tenue visible con el telescopio espacial *Hubble* es alrededor de 25 magnitudes más tenue que la estrella más tenue que puedes ver a simple vista (suponiendo una visión y habilidades de observación normales, aunque algunos expertos y algunos mentirosos y fanfarrones digan que pueden ver estrellas de séptima magnitud). Hablando de estrellas tenues, las 25

magnitudes son cinco veces cinco magnitudes, lo que corresponde a la diferencia de brillo de un factor de 1005. Por lo tanto, el telescopio *Hubble* puede ver $100 \times 100 \times 100 \times 100 \times 100$, o 10 mil millones de veces cosas más tenues que el ojo humano. Los astrónomos no esperan menos de un telescopio que cuesta unos 775 millones de euros.

Puedes conseguir un buen telescopio por menos de 800 euros y ver gratis las mejores fotos del telescopio espacial *Hubble* (que vale unos 775 millones de euros) en internet:

www.hubblesite.org.

Otra omisión: Hiparco no tenía una magnitud para asignar a las estrellas demasiado tenues para ser observadas a simple vista. En aquella época, no parecía un descuido porque nadie conocía la existencia de estas estrellas antes de que se inventara el telescopio. Sin embargo, hoy en día, los astrónomos saben que existen miles de millones de estrellas que no podemos ver a simple vista. Sus magnitudes son números elevados: 7 u 8 para estrellas que se observan fácilmente a través de unos prismáticos, y 10 u 11 para estrellas que se observan con un buen telescopio pequeño. Las magnitudes llegan a ser tan elevadas (y tan tenues) como el 21 para las estrellas más tenues del Estudio del Cielo del Observatorio del Monte Palomar (Palomar Observatory Sky Survey) y alrededor de 31 para los objetos más tenues vistos con el telescopio espacial *Hubble*.

Observa el pasado gracias a los años luz

Las distancias a las estrellas y a otros objetos más allá de los planetas de nuestro Sistema Solar se miden en *años luz*. Como medida de longitud real, un año luz equivale a unos 9,5 billones de kilómetros.

La gente confunde un año luz con una medida de tiempo porque el término contiene la palabra *año*. Sin embargo, un año luz es una medida de distancia: la longitud que recorre la luz, moviéndose a través del espacio a unos 300.000 kilómetros por segundo, durante un año.

Cuando ves un objeto en el espacio, lo ves tal como apareció cuando la luz dejó el objeto. Veamos estos ejemplos:

- ✓ Cuando los astrónomos detectan una explosión en el Sol, no la vemos en tiempo real; la luz de la explosión tarda unos ocho minutos en llegar a

la Tierra.

- ✓ La estrella más próxima, aparte del Sol, Próxima Centauri, está a unos 4 años luz de distancia. Los astrónomos no pueden ver Próxima Centauri tal como es hoy, sino tal y como era hace cuatro años.
- ✓ Observa la galaxia Andrómeda, el objeto más distante que se puede ver a simple vista, en una noche despejada y oscura en otoño. La luz que recibe tu ojo dejó esa galaxia hace unos 2,6 millones de años. Si se produjera un gran cambio en Andrómeda mañana, no lo sabríamos hasta dentro de más de dos millones de años. (En el capítulo 12 encontrarás consejos para observar Andrómeda y otras galaxias destacadas.)

En resumen:

- ✓ Cuando observas el espacio, ves el pasado.
- ✓ Los astrónomos no pueden saber con exactitud cuál es el aspecto que tiene un objeto en el espacio en este preciso momento.

Cuando ves estrellas grandes y brillantes de una galaxia lejana, contempla la posibilidad de que esas estrellas ya no existan. Algunas estrellas masivas sólo viven 10 o 20 millones de años. Si las ves en una galaxia que está a 50 millones de años luz de distancia, lo que estás mirando son estrellas inactivas. Ya no brillan en esa galaxia, están muertas.



¡Uau! No, no, quiero decir “au”

La Tierra se encuentra a unos 150 millones de kilómetros del Sol, es decir, a una *unidad astronómica* (ua o au, en inglés). Las distancias entre objetos del Sistema Solar suelen darse en unidades astronómicas. Su plural también es ua.

Al hacer declaraciones públicas, comunicados de prensa y en libros de divulgación, los astrónomos señalan a qué distancia de la Tierra están las estrellas y las galaxias que estudian. En cambio, entre ellos y en revistas

técnicas, siempre dan las distancias medidas desde el Sol, el centro de nuestro Sistema Solar. Esta discrepancia rara vez importa porque los astrónomos no pueden medir las distancias de las estrellas con suficiente precisión para que una u más o menos cambie algo, pero lo hacen así para mantener la coherencia.

Si los astrónomos enviaran un destello de luz hacia una de las galaxias más distantes encontradas con el *Hubble* u otros grandes telescopios, la luz tardaría miles de millones de años en llegar. Sin embargo, los astrónomos calculan que el Sol aumentará descomunalmente de tamaño y destruirá la vida de la Tierra dentro de solamente unos cinco mil o seis mil millones de años, así que dicha luz sería un anuncio inútil de la existencia de nuestra civilización, una mera anécdota, flor de un día.

No dejes de moverte: averigua la posición de las estrellas

En el pasado, los astrónomos llamaban a las estrellas estrellas fijas para diferenciarlas de los planetas, pues estos últimos se movían. No obstante, las estrellas también están en movimiento constante, tanto real como aparente. Todo el cielo gira sobre nosotros porque la Tierra gira. Las estrellas salen y se ponen, como el Sol y la Luna, pero mantienen su formación. Las estrellas que forman parte de la Osa Mayor no se van a Can Menor o Acuario. Las diversas constelaciones aparecen en momentos y fechas distintos, como se puede observar desde diferentes lugares de la Tierra.

De hecho, las estrellas de la Osa Mayor (y de cualquier otra constelación) se mueven unas respecto a otras. Además, lo hacen a velocidades asombrosas que se miden en cientos de kilómetros por segundo. Como esas estrellas están tan lejos, los científicos necesitan medidas precisas durante intervalos de tiempo considerables para detectar sus movimientos en el espacio. Por lo tanto, dentro de veinte mil años, las estrellas de la Osa Mayor formarán una figura distinta en el cielo (quizás incluso parezcan una Osa Mayor).

Mientras tanto, los astrónomos han medido las posiciones de millones de estrellas y muchas de ellas están recogidas en catálogos e indicadas en los mapas estelares. Las posiciones se registran en un sistema denominado *ascensión recta* y *declinación*, conocidas por todos los astrónomos, aficionados y profesionales, como AR y Dec:

en el cielo (igual que la longitud, la posición de un lugar de la Tierra medido al este o al oeste del meridiano principal de Greenwich, Inglaterra).

- ✓ La Dec es la posición de la estrella medida en dirección norte-sur, como la latitud de una ciudad, que se mide al norte o al sur del Ecuador.

Los astrónomos suelen registrar la AR en unidades de horas, minutos y segundos, como el tiempo. La declinación se fija en grados, minutos y segundos de arco. Noventa grados forman un ángulo recto, 60 minutos de arco equivalen a un grado y 60 segundos de arco son un minuto de arco. Un minuto o un segundo de arco también se suelen denominar “arcominuto” o “arcosegundo” respectivamente.



Estas sencillas reglas quizá te ayuden a recordar cómo funcionan la AR y la Dec y cómo leer un mapa estelar (consulta la figura 1-3):

- ✓ El Polo Norte Celeste (PNC) es el lugar al que apunta el eje de la Tierra en dirección norte. Si estás en el polo norte geográfico, el PNC está justo encima de nosotros (si vas allí, saluda a Papá Noel de mi parte, pero ten cuidado porque puede que estés en un terreno peligroso, ya que no hay tierra en el polo norte geográfico).
- ✓ El Polo Sur Celeste (PSC) es el lugar al que apunta el eje de la Tierra en dirección sur. Si estás en el polo sur geográfico, el PSC está justo encima de nosotros. ¡Espero que te hayas abrigado bien porque estás en la Antártida!



Estudio en profundidad de la AR y la Dec

Una estrella con una AR 2h00m00s está a dos horas al este de una estrella con AR 0h00m00s, independientemente de sus declinaciones. La AR aumenta de

oeste a este a partir de la AR 0h00m00s, que corresponde a una línea en el cielo (de hecho, es medio círculo, centrado en el centro de la Tierra) desde el Polo Norte Celeste al Polo Sur Celeste. La primera estrella puede estar en la Dec 30° norte y la segunda, en la Dec 15° 25'12" sur, pero siguen estando a dos horas de distancia en dirección este-oeste (y a 45° 25'12" de distancia en dirección norte-sur). El Polo Norte y Sur Celestes son puntos en el cielo (hacia el norte y hacia el sur) alrededor de los cuales parece que gire todo el cielo, con las estrellas apareciendo y ocultándose.

Recuerda los siguientes detalles sobre las unidades AR y Dec:

- ✓ Una hora de AR es igual a un arco de 15° en el ecuador del cielo. Veinticuatro horas de AR cubren el cielo y $24 \times 15 = 360^\circ$, o un círculo completo alrededor del cielo. Un minuto de AR, denominado *minuto de tiempo*, es una medida de un ángulo en el cielo que se compone de 1/60 de una hora de AR. Es decir, $15^\circ \div 60$, o 1/4°. Un segundo de AR, o un *segundo de tiempo*, es sesenta veces más pequeño que un minuto de tiempo.
- ✓ La Dec se mide en grados, como los grados de un círculo, y en minutos y segundos de arco. Un grado completo es alrededor de dos veces el tamaño aparente o angular de la luna llena. Cada grado se divide en 60 minutos de arco. Tanto el Sol como la Luna tienen un ancho de aproximadamente 32 minutos de arco (32'), tal y como se ve en el cielo, a pesar de que, en realidad, el Sol sea mucho mayor que la Luna. Cada minuto de arco se divide en 60 segundos de arco (60"). Cuando miras a través de un telescopio de jardín con un aumento elevado, la turbulencia del aire enturbia la imagen de la estrella. En condiciones buenas (turbulencia baja), la imagen debería medir 1" o 2" de ancho. Esto significa 1 o 2 segundos de arco, no 1 o 2 pulgadas.

- ✓ Las líneas imaginarias de AR iguales atraviesan el PNC y el PSC como semicírculos centrados en el centro de la Tierra. A pesar de ser imaginarias, aparecen en la mayoría de los mapas celestes para ayudar a encontrar las estrellas en ascensiones rectas concretas.
- ✓ Las líneas imaginarias que tienen la misma declinación, como la línea del cielo que marca la Dec de 30° norte, pasa por encima de las latitudes geográficas correspondientes. Por lo tanto, si estás en Nueva York, latitud 41° norte, el punto sobre tu cabeza siempre está en Dec 41° norte, a pesar de que su ascensión recta cambie constantemente a

medida que gire la Tierra. Estas líneas imaginarias aparecen en los mapas de estrellas, también, como *círculos de declinación*.



Supongamos que quieres encontrar el PNC desde tu jardín. Colócate hacia el norte y mira a una altitud de x grados, donde x es tu latitud geográfica. Parto de la base de que vives en América del Norte, Europa o en algún punto del hemisferio norte. Si vives en el hemisferio sur, no podrás ver el PNC. En cambio, puedes buscar el PSC. Halla el punto hacia el sur cuya altitud en el cielo, medida en grados por encima del horizonte, sea igual a tu latitud geográfica.

Prácticamente en todos los libros de astronomía, el símbolo " significa segundos de arco, no pulgadas. En cualquier caso, en todas las universidades siempre hay un estudiante de la asignatura de Introducción a la astronomía que escribe en el examen: "La imagen de la estrella era de aproximadamente 1 pulgada de diámetro." Comprender siempre es mucho mejor que memorizar, pero no todo el mundo lo entiende.

Pero tengo una buena noticia: si sólo quieres ver las constelaciones y los planetas, no es necesario que sepas utilizar la ascensión recta y la declinación. Basta con que consultes un mapa estelar dibujado para la semana o el mes actuales (puedes encontrar estos mapas en la web de *Sky & Telescope* o en las de las revistas que menciono en el capítulo 2, también puedes utilizar un programa de planetario de escritorio para tu ordenador personal o una aplicación de planetario para tu *tablet* o *smartphone*; te recomiendo programas, webs y aplicaciones en el capítulo 2). De todas formas, si quieres saber cómo funcionan los catálogos y los mapas de estrellas y cómo identificar galaxias tenues con tu telescopio, es útil que comprendas este sistema.

Si compras uno de esos telescopios nuevos, vistosos y sorprendentemente asequibles con control informático (consulta el capítulo 3), puedes marcar la ascensión recta y la declinación de un cometa descubierto hace poco y el telescopio apuntará directamente al cometa (cada vez que aparece un nuevo cometa, se incluye una pequeña tabla denominada *efemérides*. Se indica la AR y la Dec previstas del cometa en noches sucesivas a medida que barre el cielo).

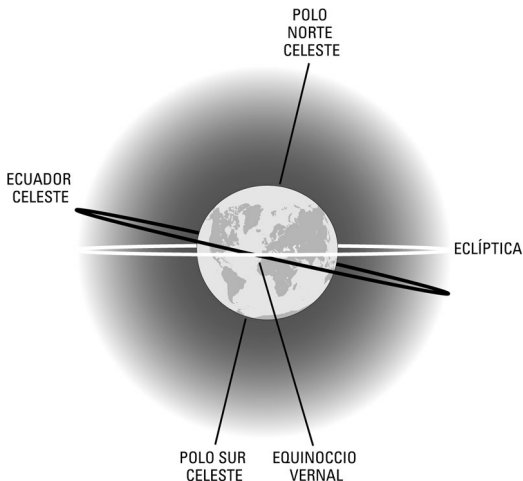


Figura 1-3:

Decodificación de la esfera celeste para encontrar la dirección en el espacio

La gravedad: una fuerza que hay que tener en cuenta

Desde el trabajo realizado por sir Isaac Newton, el científico inglés (1642-1727), la astronomía ha girado en torno a la gravedad. Newton explicó la gravedad como una fuerza entre dos objetos. La fuerza depende de la masa y de la separación. Cuanto más gigantesco sea el objeto, más potente será su atracción. Cuanto mayor sea la distancia, más débil será la atracción gravitacional. ¡No hay duda de que Newton era listo!

Albert Einstein desarrolló una teoría mejorada de la gravedad, que supera pruebas experimentales que suspende la teoría de Newton. La teoría de Newton fue lo suficientemente buena para la gravedad que suele experimentarse, como la fuerza que hizo que le cayera la manzana en la cabeza (si es que ocurrió de verdad). Sin embargo, en otros aspectos, la teoría de Newton era imprecisa. La

teoría de Einstein es mejor porque adelanta todo lo que Newton predijo correctamente, pero también otros efectos que se dan cerca de objetos masivos en los que la gravedad es muy fuerte. Einstein consideraba que la gravedad no era una fuerza, sino la curvatura del espacio y el tiempo debido a la mera presencia de un objeto masivo, como una estrella. Por sí sola, esa idea ya es extraordinaria.

El concepto de gravedad de Newton explica lo siguiente:

- ✓ Por qué la Luna describe una órbita alrededor de la Tierra, por qué la Tierra orbita alrededor del Sol, por qué el Sol orbita alrededor del centro de la Vía Láctea, y por qué muchos otros objetos orbitan alrededor de algún otro objeto en el espacio.
- ✓ Por qué una estrella o un planeta son esféricos.
- ✓ Por qué el gas y el polvo en el espacio pueden agruparse para formar nuevas estrellas.

La teoría de la gravedad de Einstein, la teoría de la relatividad, explica lo siguiente:

- ✓ Por qué las estrellas visibles próximas al Sol, durante un eclipse total, parecen ligeramente alejadas de posición.
- ✓ Por qué existen agujeros negros.
- ✓ Por qué existe una lente gravitacional cuando observamos el espacio profundo.
- ✓ Por qué, cuando la Tierra gira, arrastra el espacio y el tiempo a su alrededor, un efecto que los científicos han comprobado con ayuda de satélites que orbitan alrededor de la Tierra.

Obtendrás más información sobre los agujeros negros en los capítulos 11 y 13 y estudiarás en qué consisten las lentes gravitacionales en los capítulos 11, 14 y 15 sin que necesites dominar la teoría de la relatividad.

Serás más listo si te lees todos los capítulos de este libro, pero tus amigos no te llamarán Einstein si no te dejas crecer el pelo, te paseas con un jersey viejo y raido, y sacas la lengua cuando te hacen una foto.

El espacio: una conmoción de movimiento

En el espacio, todo se mueve y gira. Los objetos no pueden permanecer inmóviles. Debido a la gravedad, los cuerpos celestes están siempre ejerciendo una fuerza sobre una estrella, planeta, galaxia o nave espacial. Algunos de nosotros nos creemos el centro del universo, pero el universo no tiene centro.

Por ejemplo, la Tierra:

- ✓ Gira sobre su eje (lo que conocemos como *rotación*) y tarda un día en dar una vuelta entera.
- ✓ Orbita alrededor del Sol (lo que conocemos como *traslación*) y tarda un año en recorrer una órbita completa.
- ✓ Viaja con el Sol en una órbita enorme alrededor del centro de la Vía Láctea. El viaje dura alrededor de 226 millones de años y la duración de dicho viaje recibe el nombre de *año galáctico*.
- ✓ Se mueve con la Vía Láctea en una trayectoria alrededor del centro del *Grupo Local de Galaxias*, un par de docenas de galaxias de nuestro lugar del universo.
- ✓ Se mueve a través del universo con el Grupo Local para formar parte del *Flujo de Hubble*, la expansión general del espacio causada por el Big Bang.

El *Big Bang* es el fenómeno que dio origen al universo e hizo que se expanda a un ritmo vertiginoso. Las teorías más detalladas sobre el Big Bang explican muchos de los fenómenos observados y han logrado predecir algunos otros que no se habían observado antes de que circularan estas teorías. (Para obtener más información sobre el Big Bang y otros aspectos del universo, consulta la parte IV.)

¿Te acuerdas de Ginger Rogers? Cuando bailaba en las películas, hacía lo mismo que Fred Astaire, pero lo hacía hacia atrás. Igual que Ginger y Fred, la Luna sigue todos los movimientos de la Tierra (aunque no sea hacia atrás), excepto la rotación de la Tierra, porque la Luna gira más despacio, aproximadamente una vez al mes. Y realiza sus tareas mientras gira alrededor de la Tierra (cosa que hace alrededor de una vez al mes).

Y tú, como persona que está en la Tierra, participas en los movimientos de rotación, traslación, órbita alrededor del centro galáctico, cruceros del Grupo

Local y expansión cósmica. Haces todo eso mientras vas al trabajo en coche, tanto si eres consciente de ello como si no. Pídele a tu jefe que tenga un poco de consideración la próxima vez que llegues unos minutos tarde.

Capítulo 2

Únete a la multitud: actividades y recursos para observar el cielo

En este capítulo

- ▶ Apúntate a un club de astronomía, usa internet, descárgate *apps* y más
 - ▶ Explora observatorios y planetarios
 - ▶ Disfruta de fiestas de estrellas, cruceros y giras para ver eclipses, moteles con telescopio y parques de cielo oscuro
-

La astronomía tiene un atractivo universal. Las estrellas han fascinado a todo el mundo, desde la prehistoria hasta la edad moderna. Las primeras observaciones del espacio condujeron a todo tipo de teorías sobre el universo y a atribuciones de poder y propósito al movimiento de las estrellas, los planetas y los cometas. Cuando miras el cielo, cientos de miles de personas de todo el mundo miran contigo. Por lo que se refiere a la observación del cielo, no estás solo. Muchas personas, organizaciones, publicaciones, webs, *apps* para *smartphones* y otros recursos están a tu disposición para ayudarte a empezar, para que continúes y para que participes en el gran trabajo que supone explicar el universo.

En este capítulo te introduzco estos recursos y te sugiero formas de empezar. El resto depende de ti. ¡No te lo pierdas!

Nota del editor: Al final del capítulo se ha añadido un recuadro con recursos disponibles en el ámbito español.



Cuando conozcas los recursos, organizaciones, instalaciones y equipo que te puede ayudar a disfrutar más de la astronomía, te moverás con

más comodidad en la ciencia de ésta, es decir, la naturaleza de los objetos y los fenómenos del espacio profundo. Describo el equipo que necesitas en el capítulo 3.

No estás solo: clubes de astronomía, webs, aplicaciones para *smartphones* y más

Tienes un montón de información, organizaciones, personas y equipos disponibles que te pueden ayudar a empezar y a permanecer activo en el campo de la astronomía. Puedes apuntarte a asociaciones y actividades para ayudar a los investigadores a hacer un seguimiento de las estrellas y los planetas. Puedes asistir a reuniones de clubes de astronomía, conferencias y sesiones de formación, y compartir telescopios y sitios de observación para disfrutar el cielo con otras personas. También puedes encontrar revistas, webs, libros, programas informáticos y *apps* para *smartphones* con información básica sobre astronomía y fenómenos celestes.

En función de dónde vivas, quizá tengas acceso a programas de televisión que te mantengan en contacto con el cosmos, como *The Sky at Night*, de la BBC, si estás en Gran Bretaña, y *SkyWeek*, de Public Broadcasting System, si estás en Estados Unidos.

Apúntate a un club de astronomía y te acompañarán un montón de estrellas

La mejor forma de iniciarse en el campo de la astronomía sin hacer esfuerzos y gastos excesivos es apuntarte a un club de astronomía y conocer a los socios que suelen ir. Estos clubes organizan reuniones mensuales en las que los más experimentados dan consejos sobre técnicas y equipos a los principiantes, y en las que científicos locales y visitantes imparten conferencias y hacen pases de diapositivas. Es probable que los miembros del club sepan dónde conseguir buenas ofertas de telescopios o prismáticos de segunda mano y en qué productos del mercado vale la pena invertir. (Consulta el capítulo 3 si buscas más información sobre este tema.)

Lo mejor es que los clubes de astronomía suelen patrocinar reuniones de observación las noches de los fines de semana y, de vez en cuando, en fechas especiales durante una lluvia de meteoros, un eclipse u otro fenómeno especial. Una reunión para observar es el mejor lugar para descubrir la astronomía desde el punto de vista práctico y saber qué equipo necesitas. Ni siquiera tienes que llevarte un telescopio; la mayoría de la gente te deja echar un vistazo a través del suyo. Basta con que lleves calzado cómodo, guantes y gorro para protegerte del frío aire nocturno, ¡y sonríe!

Si vives en una ciudad o en un barrio residencial de las afueras de la ciudad, es probable que en tu cielo nocturno haya mucha contaminación lumínica, así que puedes encontrar mejores condiciones de observación si vas a un punto oscuro del campo. Es probable que tu club de astronomía ya haya elegido un buen lugar. Cuando los miembros del club coincidáis en ese punto solitario, podrás disfrutar de la seguridad que implica formar parte de un grupo.

Observa por el mundo: muestra de clubes de astronomía

La Sociedad Astronómica del Pacífico (www.astrosoociety.org), con sede central en San Francisco, publica la revista digital trimestral *Mercury* para aficionados. Celebra una reunión anual que cambia de lugar pero suele hacerse en la zona oeste de Estados Unidos y, a veces, llega hasta Boston o Toronto. Esta sociedad también ofrece gran cantidad de material educativo para profesores de astronomía.

¿Vives en Canadá? La RASC (Real Sociedad Astronómica de Canadá) tiene 29 centros, es decir, 29 clubes de astronomía. Los profesionales de las universidades más próximas suelen participar en las actividades de estos centros. Para encontrar un centro cercano, consulta el mapa de Canadá en la web de la RASC, www.rasc.ca. Haz clic en el nombre de una ciudad para acceder a la web del centro de esa zona.

En el Reino Unido, la venerable Asociación Astronómica Británica, fundada en 1890, todavía sigue en activo. Su web es www.britisastro.org. Y la Society for Popular Astronomy (“Sociedad para la Astronomía Popular”), que se autodenomina “la sociedad astronómica más brillante de Gran Bretaña”, ofrece noticias sobre fenómenos celestes y *tweets* sobre planetas, meteoros brillantes y más en su interesante web www.popastro.com.

La mayoría de los países cuentan con clubes de astronomía. La astronomía es una pasión realmente “universal”.



Si vives en una ciudad relativamente grande o en una ciudad universitaria, probablemente puedas encontrar un club de astronomía. Si resides en Estados Unidos, encontrarás los clubes más cercanos cumplimentando el

formulario de búsqueda Night Sky Network de la NASA en la dirección <http://nightsky.jpl.nasa.gov>. También puedes consultar la web del “club de clubes” de Estados Unidos, la Astronomical League, en www.astroleague.org. Incluye una lista de más de doscientas cuarenta sociedades clasificadas por estados.

Para una aproximación más global, visita la web *Sky & Telescope*, en www.skyandtelescope.com (basta con seleccionar la pestaña dedicada a clubes y organizaciones en el menú *Community* para encontrar clubes y organizaciones por todo el mundo). Introduce tu ciudad, estado o provincia y tu país para ver información sobre los grupos para aficionados a la astronomía que tienes más cerca. En Kansas City (Missouri), por ejemplo, los que aspiran a observar el cielo tienen cuatro grupos de aspirantes a observadores del cielo para elegir. La web incluye cinco organizaciones para Londres (Inglaterra), y en Vancouver (Columbia Británica) puedes apuntarte a un club que tiene más de trescientos miembros.

Webs, revistas, programas y aplicaciones

Conocer la astronomía es fácil. Puedes elegir entre un amplio abanico de recursos, desde webs, aplicaciones para *smartphones* y *tablets*, hasta revistas y programas informáticos para ordenadores. En los siguientes apartados te ofrezco consejos para encontrar la mejor información.

Viaja a través del ciberespacio

En internet, hay webs sobre todos los temas relacionados con la astronomía, y estos recursos aumentan a velocidades astronómicas. A lo largo del libro te iré indicando muchas de estas webs pero si quieres más información sobre planetas, cometas, meteoros o eclipses, en internet hallarás páginas muy buenas sobre todos los temas.



Los editores de la revista *Sky & Telescope* mantienen una de las mejores webs: www.skyandtelescope.com. Inicia tu carrera de observación visitando la página *Sky & Telescope* “This Week’s Sky at a Glance”, en www.skyandtelescope.com/observing/ata glance. Explica el

día a día (o la noche a noche) de planetas, cometas y otras vistas que buscar.



Fuera de Estados Unidos, probablemente encuentres una web adaptada a tu país, o, como mínimo, a tu latitud al norte o al sur del Ecuador. En el Reino Unido, por ejemplo, la revista *Astronomy Now* ofrece un mapa estelar interactivo diseñado para observadores que se encuentren en Gran Bretaña e Irlanda, www.astronomynow.com/sky_chart.shtml.

Ojea publicaciones

Puedes comprar excelentes revistas para ampliar tu conocimiento sobre astronomía y tus habilidades para ponerlo en práctica. La mayoría de los aficionados a la astronomía se suscriben como mínimo a una publicación. En muchos casos, cuando te apuntas a un club de astronomía local, quizá tengas acceso a una suscripción para una revista nacional que haga descuentos para sus miembros. (Para ver información detallada sobre cómo apuntarte a un club, consulta el apartado “Apúntate a un club de astronomía y te acompañarán un montón de estrellas” y, si quieres conocer publicaciones en español, consulta el recuadro gris que encontrarás al final de este capítulo).



Te recomiendo que cojas un ejemplar de cada una de las “dos grandes” (literalmente, las dos más grandes) revistas astronómicas: *Sky & Telescope* y *Astronomy*. Prueba las publicaciones durante un mes, y, si una te convence más que la otra, suscríbete. Lo puedes hacer desde sus webs: www.skyandtelescope.com y www.astronomy.com. (Puedes utilizar las ayudas para observación y otros recursos útiles de la web *Sky & Telescope* aunque no te hayas suscrito a su revista, pero la mayor parte del material del sitio web *Astronomy* es sólo para suscriptores.)

Los lectores de Canadá pueden conseguir la revista bimensual *SkyNews: The Canadian Magazine of Astronomy & Stargazing*, una publicación impecable y a todo color. Sus suscriptores se convierten en asociados de astronomía del Museo Canadiense de Ciencia y Tecnología. Llama al 1-866-759-0005 o visita www.skynews.ca para obtener más información.

Los aficionados a la astronomía del Reino Unido deberían buscar *Astronomy Now* y *Popular Astronomy* para elegir la revista que prefieran. Visita

En Francia, una revista excelente y bien ilustrada es *Ciel & Espace* (www.cieletespace.fr); en Australia, busca *Australian Sky & Telescope* (www.austskyandtel.com.au); y, en Alemania, *Sterne und Weltraum* (www.astronomie-heute.de).

Vivas donde vivas, necesitas el *Observer's Handbook* anual de la RASC (Real Sociedad Astronómica de Canadá). Puedes conseguirlo en su web: www.rasc.ca. Docenas de expertos elaboran este manual para ayudarte a disfrutar del cielo.

Programas informáticos y aplicaciones

Un programa planetario, es decir, un planetario para el ordenador, resulta muy útil, al igual que una aplicación de planetario para tu *smartphone* o *tablet*. Estos programas o aplicaciones te muestran el aspecto del cielo desde tu casa todas las noches. También los puedes utilizar para averiguar qué estrellas y planetas estarán en el cielo en una fecha futura o en una ubicación distinta para comprobar por adelantado lo que puedes observar en las próximas vacaciones o al visitar un sitio de observación de cielo oscuro. Estos programas son fantásticos para mirar antes de salir a ver el cielo nocturno. Algunos astrónomos utilizan estos programas para planificar sus sesiones de observación. Deciden con antelación qué objetos van a observar con telescopios y prismáticos en distintos momentos de la noche para utilizar su “tiempo de oscuridad” de forma efectiva. Los aficionados con modelos de telescopio que incluyen control por ordenador pueden usar algunos programas de planetario para dirigir sus telescopios hacia estrellas, planetas u otros objetos celestes de interés.

Los programas de planetario para ordenador están disponibles en una amplia gama de precios (incluso hay algunos gratuitos) y ofrecen distintas prestaciones. Puedes encontrar algunos programas anunciados en revistas de astronomía y ciencia y en webs (consulta los dos apartados anteriores); se actualizan periódicamente para que sean más útiles. Sólo necesitas un programa para empezar, y puede que ése sea el único que precises. La mejor forma de seleccionar el programa de planetario que se adapte a ti es hablar con los astrónomos aficionados y experimentados de tu club de astronomía local. Lo que les funcione a ellos es probable que también te vaya bien a ti.



Aquí tienes algunos programas que creo que vale la pena

considerar:

- ✓ **Stellarium:** Programa de planetario personal gratuito, de fuente abierta, para utilizar en ordenadores con la mayoría de sistemas operativos. Visita el sitio web Stellarium, www.stellarium.org, para ver sus múltiples funciones, capturas de pantalla de muestra o descargas de programas en tu ordenador.
- ✓ **TheSkyX:** Tres versiones del programa de planetario TheSkyX, de Software Bisque, están disponibles en www.bisque.com/sc, pero recomiendo la versión más sencilla y económica, TheSkyX Student, para principiantes. Puedes utilizar TheSkyX Student para ver el aspecto del cielo en cualquier momento y lugar de la Tierra. Incluso muestra qué estrellas están por encima del horizonte durante el día (a pesar de que no puedas verlas excepto si se produce un eclipse total de Sol). Puedes imprimir mapas de estrellas e incluso utilizarlo para predecir fulguraciones de satélites Iridium visibles desde tu ubicación. (Describo las fulguraciones de Iridium en el capítulo 4.) De todas formas, este programa sencillo no apuntará tu telescopio por ti.
- ✓ **Sky Safari Pro:** Disponible solamente para ordenadores Mac, este programa está en tres versiones. La versión básica no controla un telescopio, pero, probablemente, tiene todo lo que necesita un astrónomo aficionado y principiante. Este programa se basa en la aplicación Sky Safari, que describo más adelante en este apartado. Está disponible en www.southernstars.com.
- ✓ **Programa de planetario en línea Sky & Telescope:** Puedes encontrar un programa sencillo (y gratuito) en línea en www.skyandtelescope.com. Una carta celeste interactiva llega a tu pantalla y muestra el cielo sobre Greenwich (Inglaterra) en tiempo real. Puedes reiniciarla para señalar tu ubicación geográfica y para indicar el tiempo y la fecha en la que quieras hacer tu observación.

En los últimos años ha aparecido en el mercado un gran número de aplicaciones relacionadas con la astronomía para *smartphones* y *tablets*. Aquí incluyo algunas de ellas:

- ✓ **AstroGizmo:** este programa de planetario es económico, sirve para iPhone y iPad y muestra las 88 constelaciones (que enumero en el capítulo 1) y los planetas. Basta con mantener el dispositivo mirando hacia el cielo, y AstroGizmo te enseña las estrellas y los planetas de esa dirección (si los hay), tal y como se ven desde tu ubicación en ese momento.
- ✓ **CraterSizeXL:** Utiliza esta aplicación para iPad y iPhone y calcula el

posible daño si un asteroide potencialmente peligroso se dirige a la Tierra (comento estos asteroides en el capítulo 7). Cumplimenta la información disponible sobre el objeto y CraterSizeXL predecirá la energía del impacto en unidades de explosiones de bombas atómicas equivalentes a la de Hiroshima, el tamaño del cráter y más. El daño producido por un impacto de asteroide puede alcanzar miles de millones de euros, pero la buena noticia es que puedes descargar la aplicación por menos de un euro.

- ✓ **Distant Suns 3:** Otra aplicación para iPhone y iPad. Este programa de planetario es especialmente útil para los aficionados a la astronomía estadounidenses, ya que te avisa de las próximas actividades astronómicas que han organizado los clubes de astronomía de Estados Unidos. Incluye información de la Night Sky Network de la NASA.
- ✓ **Galaxy Zoo:** Para teléfonos y *tablets* Android, y para iPhone y iPad, esta aplicación gratuita es útil para científicos urbanos que contribuyen en al avance de la ciencia de la astronomía clasificando las formas de un número astronómico de galaxias que ha fotografiado el telescopio espacial *Hubble*. Únete a más de un cuarto de millón de voluntarios de todo el mundo en este esfuerzo, vale la pena. (Describo las galaxias y cómo unirse a Galaxy Zoo con tu ordenador, *smartphone* o *tablet* en el capítulo 12.)
- ✓ **Google Sky Map:** Si tienes una *tablet* o un teléfono Android, puedes utilizar esta aplicación gratuita para identificar estrellas y planetas visibles o disfrutar de imágenes de numerosos objetos celestes de la NASA y de otras fuentes.
- ✓ **GoSatWatch:** Si tienes un iPhone o un iPad, puedes utilizar esta aplicación para saber dónde están los satélites artificiales que orbitan la Tierra y predecir cuándo pasarán dichos satélites sobre el punto en el que te encuentras (o sobre cualquier otro punto) de la Tierra. (Describo la observación de satélites artificiales en el capítulo 4.)
- ✓ **NASA Meteor Counter:** Esta aplicación para iPhone y iPad te ayuda a contar e informar de meteoros a la NASA, tal y como describo en el capítulo 4.
- ✓ **Sky Safari:** Programa de planetario de buena calidad (para dispositivos Android, iPhone y iPad). Está disponible en varias versiones a precios que van desde 2,5 €, por la versión más sencilla, a unos 45 €, la más avanzada. Cuanto más pagues, más funciones obtienes. Con la versión básica, puedes apuntar el teléfono hacia el cielo, de noche o de día, y

el dispositivo identificará los objetos celestes visibles (de noche) o invisibles (de día) que se encuentran en esa dirección. Empieza con la versión más económica y comprueba si hace todo lo que necesitas.

- ✓ **Space Junk Lite:** Los que dispongan de *tablets* y teléfonos Android pueden utilizar esta aplicación gratuita para descubrir estrellas, planetas y constelaciones visibles en el cielo nocturno en sus ubicaciones y ver la Estación Espacial Internacional y el telescopio espacial *Hubble* cuando cruzan el cielo nocturno. Si te gusta esta aplicación, quizá te interese descargar la versión avanzada, Space Junk Pro (vale unos 4 €).
- ✓ **Stellarium:** Esta aplicación gratuita para iPhone se basa en el programa de planetario informático Stellarium, descrito en este apartado.

Visita observatorios y planetarios

Puedes visitar *observatorios profesionales* (organizaciones que tienen grandes telescopios para estudiar el universo y cuyo personal está formado por astrónomos y otros científicos) y *planetarios públicos* (instalaciones equipadas con aparatos que proyectan estrellas y otros objetos celestes en una habitación oscura, acompañados por explicaciones sencillas de fenómenos celestes) para conocer mejor los telescopios, la astronomía y los programas de investigación.

Nota del editor: Recuerda que al final del capítulo encontrarás un listado de los principales observatorios y planetarios de España.

Algunos de los mejores observatorios

Puedes encontrar docenas de observatorios profesionales en Estados Unidos y muchos más en todo el mundo. Algunos actúan como centros de investigación gestionados por facultades y universidades u organismos gubernamentales. Por ejemplo, el Observatorio Naval de Estados Unidos (situado en el corazón de Washington, DC, vigilado por el Servicio Secreto y hogar del vicepresidente de Estados Unidos; www.usno.navy.mil/USNO) y otros están en lugares remotos en cimas de montañas (como el Observatorio Meyer-Womble del monte Evans de la Universidad de Denver, que se anuncia como el “Observatorio en activo más alto del Oeste”, a 4,31 kilómetros, <http://mysite.du.edu/~rstencel/MtEvans>).

Algunos observatorios se dedican a la información y educación del público. Suelen gestionarlos los ayuntamientos, condados, sistemas escolares o bien organizaciones sin ánimo de lucro. Éstos son algunos de los mejores centros:

- ✓ **The Royal Observatory, Greenwich (Londres, Inglaterra):** Uno de los observatorios más famosos del mundo. Antiguamente, el Royal Observatory (www.rmg.co.uk/royal-observatory) era un centro de investigación profesional que se conocía como Royal Greenwich Observatory. Este observatorio “alberga” el meridiano de Greenwich, a partir del cual se mide la longitud terrestre. Además, fue la fuente original del GMT (Tiempo del Meridiano de Greenwich), que fija el estándar para establecer la hora en todo el mundo.
- ✓ **Observatorio Lowell, en Mars Hill en Flagstaff (Arizona):** Los observatorios de investigación varían respecto al grado en el que aceptan visitas del público, pero en Lowell son especialmente cordiales. Incluso algunas noches puedes mirar planetas o estrellas. Este observatorio anuncia que puedes “mirar por el telescopio que utilizó Percival Lowell para dibujar Marte o visitar el telescopio que ayudó a Clyde Tombaugh a descubrir Plutón”. Este observatorio tiene un excelente centro de visitas con una sala con pantalla semiesférica y sala de exposiciones, y suele ofrecer visitas. Su web es www.lowell.edu. (Te hablaré de Percival Lowell y Marte en el capítulo 6 y de Plutón en el capítulo 9.)
- ✓ **Observatorio National Solar, Sunspot (Nuevo México):** Este observatorio gestiona telescopios para observar el Sol por encima de la pequeña ciudad de Cloudcroft, elevada respecto a la ciudad de Alamogordo. Puedes ver su Centro de Astronomía y Visitas de Sunspot (visitas durante el día) y acceder también al observatorio. Consulta www.nso.edu para obtener más información.
- ✓ **Observatorio Mount Wilson, en las montañas de San Bernardino, por encima de Los Ángeles (California):** El monte Wilson, donde se descubrieron la expansión del universo y el magnetismo del Sol, es un punto de referencia en la historia de la ciencia. Albert Einstein fue un invitado especial aquí, pero no tienes que ser un cerebro privilegiado para disfrutar de tu visita. Consulta www.mtwilson.edu.
- ✓ **Observatorio y Planetario Griffith (Los Ángeles, California):** Este observatorio funciona totalmente para el público en Griffith Park, en Los Ángeles, y vale la pena visitarlo. Su web es

- ✓ **Observatorio del Monte Palomar, cerca de San Diego (California):** Aquí puedes ver el famoso telescopio de 200 pulgadas (5,1 metros) que, durante décadas, fue el más grande y mejor del mundo. Incluso con instrumentación más nueva, este telescopio sigue aportando mucho conocimiento sobre el universo. Dentro del observatorio tendrás que guiarte por tu cuenta. Entra en su web www.astro.caltech.edu/palomar justo antes de visitarlo; este observatorio cierra mucho antes de la puesta de sol y, a menudo, no se puede acceder a sus instalaciones debido a las condiciones climáticas y de la carretera de acceso a la cima, situaciones que se conocen con poca antelación. El observatorio tiene un pequeño museo y una tienda de regalos.
- ✓ **Observatorio Nacional Kitt Peak Se encuentra en una reserva de nativos americanos (la nación Tohono O'odham) en el desierto de Sonora, a 90 kilómetros al oeste de Tucson (Arizona):** Cuando trabajaba en Kitt Peak durante la década de los sesenta, solamente se permitía la visita de turistas durante el día. De todas formas, había mucho que ver, desde el centro de visitas (un museo astronómico) a las muchas cúpulas de los telescopios. Ahora, las cosas han cambiado, así que pon el KPNO en los primeros puestos de tu lista cuando visites el suroeste de Estados Unidos. Durante el día, puedes participar en una visita guiada o autoguiada. Además, puedes experimentar la observación nocturna con algunos telescopios del KPNO. Debes concertar una cita por adelantado para hacer la observación. Para obtener información más detallada, visita www.noao.edu/kpno y haz clic en *Tourist Information*.
- ✓ **Observatorio MMT, en el monte Hoplins, Bosque Nacional de Coronado, 59 kilómetros al sur de Tucson (Arizona):** Dirígete al Centro de visitantes Fred Lawrence Whipple, al pie de la montaña, donde puedes disfrutar de exposiciones y apuntarte para visitar el observatorio con su telescopio reflector de 6,5 metros, uno de los más grandes de Estados Unidos (sin contar las islas). Antes de ir, comprueba en la web del MMT cuándo hacen las visitas abiertas al público y cuándo está abierto el centro para visitantes en www.mmt.org/node/289.
- ✓ **Observatorios Mauna Kea, en la Gran Isla de Hawái:** La mayor “granja de telescopios” de Estados Unidos alberga 13 grandes telescopios operados por Estados Unidos y otras diez naciones. No

existe un conjunto comparable de grandes telescopios en el hemisferio norte; en el hemisferio sur, el único comparable es el Observatorio Europeo Austral de Chile.

Vale la pena visitar Mauna Kea, pero debes tener buena salud debido a su altitud elevada (4.205 metros), y seguir las instrucciones para visitantes que aparecen en la web de los MKO (www.ifa.hawaii.edu/mko). La primera vez que visité el observatorio, subí un tramo de la escalera y empecé a ponerme azul. Mis anfitriones me dieron oxígeno y me llevaron hasta un centro del personal que estaba a unos 2.700 metros para que me recuperara. También hay una estación de información al visitante a unos 2.700 metros, en la que puedes empezar tu visita.

También puedes visitar observatorios de radioastronomía, donde los científicos “escuchan” señales de radio de las estrellas o buscan señales de civilizaciones alienígenas. Éstos son mis preferidos:

✓ **NRAO (Observatorio de Radioastronomía Nacional):** Bajo el patrocinio de la National Science Foundation, el NRAO tiene centros cerca de Socorro (Nuevo México) y Green Bank (Virginia Occidental) que aceptan visitas (consulta www.nrao.edu):

• **Very Large Array (VLA) Visitor Center:** Cruza las llanuras de San Agustín, cerca de Socorro, para ver el enorme radiotelescopio, un sistema de 27 radiotelescopios con forma de plato, cada uno con un diámetro de casi 25 metros. Hay centro de visitantes y tienda de regalos, pero si quieres visitarlo, debes ir el primer sábado de mes. Encontrarás las horas de visita y más información en www.nrao.edu/index.php/learn/vlavc.

• **Robert C. Byrd Green Bank Telescope:** En Green Bank, enclavado entre montañas en la “National Radio Quiet Zone” o Zona Nacional de Silencio Radio de Estados Unidos, puedes visitar el telescopio de casi 100 metros, la mayor antena parabólica orientable del mundo. El Green Bank Science Center ofrece exposiciones interactivas. Tras disfrutar de las vistas, detente en el Starlight Café para reponer fuerzas con su riquísima oferta. Comprueba las horas de visita en www.nrao.edu/index.php/learn/gbvc.

✓ **Jodrell Bank Observatory, cerca de Goostrey (Cheshire,**

Inglaterra): En este observatorio, dirigido por la Universidad de Mánchester, puedes ver el histórico telescopio *Lovell* de 76 metros, un gran disco utilizado en el pasado para hacer rebotar señales de radar en cohetes soviéticos e incluso de la Luna. El Jodrell Bank Discovery Centre ofrece un pabellón espacial, Planet Walk, Galaxy Garden y más. Está cerrado algunos días festivos, así que visita su web (www.jodrellbank.net/visit) antes de ir.

- ✓ **Radiotelescopio Parkes, cerca de Parkes (Nueva Gales del Sur, Australia):** Cuando vayas a Australia, debes visitar el radiotelescopio Parkes, de 64 metros. Este telescopio es famoso entre los astrónomos por sus descubrimientos, pero logró llegar al público general al realizar las radiotransmisiones a la NASA de los astronautas del Apollo en sus misiones a la Luna. El centro de descubrimiento para visitantes del Radiotelescopio Parkes tiene exposiciones, dos salas de actos y la cafetería llamada Dish Café. Consulta su web www.csiro.au/Portals/Education/Programs/Parkes-Radio-Telescope/VisitParkesTelescope.aspx.

Paséate por los planetarios

Los planetarios son perfectos para los astrónomos principiantes. Ofrecen exposiciones de divulgación y proyectan maravillosos espectáculos celestes dentro del planetario, en la cúpula o en una pantalla enorme. Muchos planetarios ofrecen sesiones de observación del cielo nocturno con telescopios pequeños, normalmente en el aparcamiento, en una cúpula de observación pequeña o en un parque público cercano. Muchos tienen excelentes tiendas en las que puedes admirar los últimos libros de astronomía, revistas y mapas estelares. El personal del planetario también te puede dirigir al club de astronomía más cercano. Puede que incluso ese personal se reúna en el mismo planetario horas después del cierre.

Prácticamente crecí en el Planetario Hayden del Museo Norteamericano de Historia Natural de la Ciudad de Nueva York. Confieso que, incluso a veces, entro sin pagar entrada. El personal del planetario fue tan amable que me dejó volver a hacer un discurso (también gratis) en su quincuagésimo aniversario. A pesar de que derrumbaron el viejo planetario, lo han sustituido por uno nuevo y espectacular. La próxima vez que visites la Gran Manzana, no te olvides de acudir a este magnífico planetario. La entrada es cara, pero resulta mucho más barato que ver una obra de Broadway y sus estrellas nunca desafinan ni se olvidan de su frase (pero ¡no intentes colarte como yo!). La información para el visitante se

encuentra en la web del Planetario Hayden:
www.amnh.org/visitors/index.php.



Loch Ness Productions, de Colorado, es un monstruo en el negocio de los planetarios. Controla más de 3.500 planetarios y salas con pantalla semiesférica. Loch Ness no los recoge todos en su sitio web, pero probablemente puedas encontrar un planetario cerca de donde estés, o en un país que tengas previsto visitar, en su directorio en línea: www.lochnessproductions.com/lfco/lfco.html.

Ocio con las estrellas: fiestas estelares, excursiones para ver eclipses, parques de cielo oscuro y más

Unas vacaciones dedicadas a disfrutar de la astronomía son un lujo para la mente y la vista. Además, viajar con las estrellas suele ser más barato que unas vacaciones convencionales. No tienes que visitar los destinos turísticos más de moda para no ser menos que tus estirados vecinos. Puedes tener una experiencia única en la vida y volver entusiasmado con lo que viste e hiciste, no sólo por lo que comiste y compraste.

De todas formas, puedes gastar de lo lindo en un tipo de vacaciones de astronomía: un crucero para ver un eclipse. Si te gustan los cruceros, hacer uno para ver un eclipse no es más caro que otro sin premio celeste. También hay viajes organizados para ver eclipses a precios de saldo. Las fiestas de estrellas, los moteles con telescopio y las visitas a parques de cielo oscuro son otras opciones. Las comento todas en los apartados siguientes. ¡Haz las maletas y pide a los vecinos que cuiden del perro!

¡Que siga la fiesta! Ve a fiestas de estrellas

Las *fiestas de estrellas* son convenciones al aire libre para aficionados a la astronomía. Se montan los telescopios (algunos caseros y otros no) en un campo, y la gente se turna para observar el cielo (preparate para oír muchos “Ooh” y “Ah”). Los jueces eligen los mejores telescopios y equipos domésticos, algo que valoran mucho sus propietarios y, en ocasiones, otorgan un premio. Si llueve por la tarde, los visitantes de la fiesta pueden ver pases de diapositivas en una sala cercana o en una tienda grande. La organización varía, pero, a menudo, algunos

visitantes acampan por la zona; otros alquilan cabañas o se desplazan a moteles próximos. Las fiestas de estrellas pueden durar una noche o dos, a veces incluso una semana. Atraen a cientos de miles (sí, ¡miles!) de constructores de telescopios y aficionados a la astronomía. Las mayores tienen webs con fotos de las ediciones anteriores y avanzan las actividades futuras. Algunos se parecen a las AstroFests que mencionaré en este apartado, con expositores, oradores destacados y observación de estrellas.



Las principales fiestas de estrellas de Estados Unidos incluyen:

- ✓ **Stellafane:** Esta fiesta de estrellas de Vermont empezó en 1926 y sigue en plena forma (<http://stellafane.org/convention/index.html>).
- ✓ **Texas Star Party:** Contempla las estrellas a unos 1.600 metros en el Prude Ranch de Texas (<http://texasstarparty.org>).
- ✓ **RTMC Astronomy Expo:** Puedes alucinar con las estrellas a una altura de 2.300 metros en las montañas San Bernardino de California (www.rtmcastronomyexpo.org).
- ✓ **Enchanted Skies:** Dirígete al desierto de Nuevo México, con un cielo oscuro en South Baldy, a una altitud de 3.230 metros (<http://enchantedskies.org>).
- ✓ **Nebraska Star Party:** Esta fiesta presume de ser “un fantástico barrido del cielo nocturno de verano sin contaminación lumínica” (www.nebraskastarparty.org).

Éstas son algunas de las principales fiestas de estrellas del Reino Unido:

- ✓ **The Equinox Sky Camp:** Se celebra en Kelling Heath (Norfolk) y es una fiesta que describen como “la mayor fiesta de estrellas del Reino Unido” (www.starparty.org.uk).
- ✓ **Kielder Forest Star Camp:** Situado en Northumberland, Kielder Forest se considera “el lugar más oscuro para cualquier fiesta de estrellas

inglesa”

(www.kielderforeststarcamp.org/starcamp.html).

Si vives en el hemisferio sur o prevés visitarlo, quizá te interese esta fiesta de estrellas:

- ✓ **Fiesta de estrellas del Pacífico Sur:** Se organiza cerca de Ilford (Nueva Gales del Sur), en Australia, en una propiedad reservada con este fin por la ASNSW, la Sociedad Astronómica de Nueva Gales del Sur (www.asnsw.com/node/712).

A largo plazo, te recomiendo visitar como mínimo una de estas fiestas de estrellas, pero, de momento, pregunta en algún club de astronomía local si hay alguna reunión similar prevista cerca de tu lugar de residencia.

Disfruta de los festivales AstroFest

Puedes oír a astrónomos famosos, conocer a autores de textos de ciencia y enterarte de las últimas noticias sobre el espacio en una exposición para entusiastas de la astronomía. Los grupos de astronomía organizan las exposiciones para llegar al público, estudiantes y docentes. Los actos, que suelen llamarse AstroFests, ofrecen charlas sobre astronomía e investigación espacial, así como exposiciones y demostraciones de la última tecnología disponible a aficionados a la astronomía. Las exposiciones se suelen conocer como AstroFest en Europa y Australia. Las mayores fiestas de estrellas (que describo en el apartado anterior) de Estados Unidos también incluyen destacados oradores y expositores durante el día, además de la observación nocturna.

Hacia la totalidad: viajes y cruceros para ver eclipses

Existen viajes organizados y cruceros cuyo objetivo es ver eclipses totales del Sol. Los astrónomos pueden calcular con antelación cuándo y dónde se verá un eclipse. Los lugares en los que se puede ver el eclipse total se limitan a una franja estrecha de la tierra y el mar denominada *franja de totalidad*. Puedes quedarte en casa y esperar que un eclipse total llegue a ti, pero puede que no vivas lo

suficiente para ver más de uno, si ves alguno. Por lo tanto, si eres de los observadores de estrellas impacientes, quizá quieras viajar a la franja de totalidad.

Algunas razones para reservar un viaje organizado

Si un eclipse es visible desde un punto que te quede a una distancia razonable, no necesitas apuntarte a un viaje organizado. (De todas formas, estos casos son excepcionales; consulta la lista de próximos eclipses totales de Sol en el capítulo 10, tabla 10-1.)

Si eres experto en viajar por tu país y por el extranjero, puedes ir por tu cuenta a la franja de totalidad para ver un eclipse. Pero, considera este aspecto: los expertos en meteorología y los astrónomos identifican las mejores ubicaciones para realizar observaciones con años de antelación. Tienes que viajar a lugares aleatorios por el mundo. Lo más habitual es que estos lugares no sean grandes metrópolis que ofrecen multitud de posibilidades de alojamiento. Cuando los expertos indican que un sitio concreto es idóneo para ver el próximo eclipse, tanto las agencias de viaje como los aficionados reservan la mayor parte de los hoteles del lugar y otros servicios con años de antelación. Los últimos en llegar, sobre todo los que viajan por su cuenta, puede que no tengan tanta suerte.

Las empresas que organizan excursiones de este tipo suelen estar en contacto con algún meteorólogo y un número reducido de astrónomos profesionales (a veces, ¡incluso conmigo!). Así, tienes la ventaja de que el meteorólogo tome decisiones en el último momento sobre si el lugar de observación del grupo tiene que trasladarse a otro sitio que tenga un mejor pronóstico del tiempo para el día siguiente, que el astrónomo que te enseñe los métodos más seguros para fotografiar el eclipse y, normalmente, que otro experto cuente historias sobre anteriores eclipses y comente los últimos descubrimientos sobre el Sol y el espacio.

La noche posterior al eclipse todo el mundo enseña sus vídeos del cielo que se oscurece, los pájaros que vuelven a sus nidos para descansar en mitad del día, un torpe que tira el telescopio en el peor momento posible y la multitud emocionada que exclama “¡Oh!”, “¡Fantástico!”. Y, evidentemente, todos vuelven a ver el vídeo del eclipse una y otra vez.

Si estos detalles no te han convencido para hacer un viaje organizado para ver eclipses y disfrutar de las vistas, considera que suele ser más barato hacer estos desplazamientos en grupo que ir por tu cuenta (y es más satisfactorio que esperar años hasta que se produzca un eclipse total visible cerca de donde vives). En el grupo, harás amigos que comparten su pasión por perseguir eclipses y observar el cielo. Por lo menos, es lo que yo he vivido.

Las ventajas de un crucero

Un crucero para ver un eclipse suele ser mucho mejor que un viaje por tierra, pero es mucho más caro. En el mar, el capitán y el navegador tienen “2° de libertad”. Cuando el meteorólogo dice: “Hay que ir al suroeste por el camino de la totalidad de 320 kilómetros” la noche antes del eclipse (por una predicción óptima para encontrar una ubicación sin nubes durante el momento del eclipse), el barco puede seguir esas instrucciones. En cambio, en tierra, el autocar debe seguir por la carretera, y quizá ésta no vaya en la dirección que necesitas. En un eclipse total en Libia, nuestra procesión de autocares enfiló una carreterita que cruzaba el desierto para llegar al sitio designado para la observación, donde nos esperaba agua, lavabos portátiles, guardias de seguridad y vendedores de camisetas a nuestra disposición. En un crucero, puedes dejar el timón a la tripulación, reclinarte en una tumbona, saborear una piña colada, preparar la cámara y esperar la totalidad.



He visto muchos eclipses, y mi experiencia es que, si te quedas en tierra, consigues una visión clara de la totalidad más o menos la mitad de las veces. Cuando viajas en un transatlántico, prácticamente nunca te lo pierdes.

La decisión correcta

Puedes encontrar anuncios de viajes y cruceros para ver eclipses en revistas de astronomía y naturaleza, y en webs de astronomía y viajes. Los clubes de astronomía, hermandades y asociaciones de licenciados universitarios suelen organizar un alojamiento con tarifa de grupo al contratar un crucero para ver un eclipse.



Aquí tienes algunas formas de elegir el viaje o el crucero más adecuados para ti:

- ✓ **Consulta revistas de astronomía actuales y pasadas.** La mayoría de estas revistas incluyen artículos sobre posibilidades de observar un eclipse solar con años de antelación. Así obtienes recomendaciones expertas sobre los mejores lugares para observarlos.
- ✓ **Lee los anuncios de los operadores turísticos.** ¿Qué viajes organizados y cruceros van a los mejores lugares? Consigue folletos de agencias de

viaje, promotores turísticos y compañías de cruceros. Los promotores suelen citar los viajes anteriores en los que han logrado ver eclipses, lo que indica su nivel de experiencia.

¡Tú puedes hacerlo!

Participa en la investigación científica

Tú puedes hacer que tu afición a la astronomía ayude a la humanidad y a la vez sea divertida uniéndote a los esfuerzos nacionales e internacionales para recoger valiosos datos científicos. Quizá sólo tengas unos prismáticos, que no son nada si los comparamos con los dos telescopios de 10 metros de diámetro del Observatorio Keck, pero si en el lugar donde está el observatorio está nublado, Keck no ve nada. Y si una espectacular bola de fuego sale disparada sobre tu ciudad, puede que seas el único astrónomo que la vea.

Los satélites secretos del Departamento de Defensa de Estados Unidos y un cineasta aficionado que estaba de vacaciones en el Parque Nacional de los Glaciares registraron uno de los meteoros más espectaculares e interesantes de todos los tiempos. Un clip de aquella película casera aparece en prácticamente todos los documentales científicos sobre meteoros, asteroides y cometas que salen en televisión. Vale la pena estar en el sitio correcto en el momento adecuado. Y algún día quizá ese alguien seas tú.

Únete a otros aficionados a la astronomía en la denominada ciencia ciudadana y disfruta de los proyectos que recomiendo a lo largo de este libro. Puedes utilizar tu *smartphone* para ayudar a la NASA a contabilizar meteoros (consulta el capítulo 4); busca fotos hechas por un satélite que orbite alrededor de la Luna para identificar pequeños cráteres lunares (consulta el capítulo 5); escucha los datos de radio del Allen Telescope Array para buscar inteligencia extraterrestre (consulta el capítulo 14); ayuda a los científicos a encontrar planetas alrededor de estrellas más allá del Sol (también en el capítulo 14); o busca nebulosas con forma de burbuja en la Vía Láctea y clasifica las galaxias fotografiadas por el telescopio espacial *Hubble* en el ordenador de tu casa (ambos proyectos se describen en el capítulo 12).

Disfruta de los moteles con telescopio

Los moteles con telescopio son establecimientos en los que las atracciones

que ofrecen son el cielo oscuro y la oportunidad de montar tu propio telescopio en una excelente ubicación para hacer observaciones. Normalmente, disponen de telescopios que te dejan usar, quizá tengas que pagar una tarifa adicional. Si te gusta la idea de disfrutar de unas vacaciones para hacer observaciones del cielo sin tener que cargar con tu propio equipo hasta la otra punta del país o del mundo, los moteles con telescopio son una buena opción.



Si estás en Estados Unidos, vale la pena pasar por estos moteles que disponen de telescopio:

- ✓ **The Observer's Inn:** Este hotel se encuentra en Julian (California), una ciudad histórica en la que había minas de oro. Tiene un observatorio y plataformas de cemento en las que los clientes pueden colocar sus propios telescopios. Éste es su sitio web www.observersinn.com.
- ✓ **Primland:** Situado en las montañas Blue Ridge, cerca de Meadows of Dan (Virginia), Primland es un complejo turístico de lujo, no un simple motel; puedes observar las estrellas en su propio observatorio (<http://primland.com>). Llama a tu tío rico y sugiérele que te invite.
- ✓ **Observatorio del valle de San Pedro:** Se encuentra cerca de Benson (Arizona) y proporciona a los astrónomos/guías un telescopio de 50 centímetros y varios más pequeños para observaciones y astrofotografía. Consulta <http://arizona-observatory.com> para obtener más detalles. No ofrece alojamiento, pero te da referencias de alojamientos en moteles y *bed-and-breakfasts* cercanos.

Fuera de Estados Unidos, vale la pena visitar estos moteles con telescopio:

- ✓ **Fieldview Guest House:** Este *bed-and-breakfast* dispone de seis telescopios y está situado en Norfolk, al este de Inglaterra. Consulta www.fieldview.net para obtener más información.
- ✓ **COAA (Centro de Observación Astronómica del Algarve):** Ubicado

al sur de Portugal, este centro ofrece varias *suites* para invitados, seis telescopios y un sistema de radar para observar meteoros noche y día. Lo puedes visitar por internet en www.coaa.co.uk/index.html.

- ✓ **SPACE (San Pedro de Atacama Celestial Explorations):** Este motel con telescopio en San Pedro de Atacama (Chile) ofrece alojamiento, viajes organizados (los guías hablan español, inglés y francés) y telescopios en el desierto de Atacama, a una altura de cerca de 2.400 metros (www.spaceobs.com). Está considerada una de las mejores zonas para observatorios astronómicos de la Tierra.

Monta el campamento en parques de cielo oscuro

La IDA (Asociación Internacional de Cielo Oscuro), cuyo sitio web es www.darksky.org, concede la designación de Parque de Cielo Oscuro Internacional a tierras públicas con buenos cielos estrellados que tienen una interferencia limitada o muy baja de la iluminación artificial. Un parque de cielo oscuro puede tener o no telescopios propios, pero siempre lo puedes visitar para obtener una buena vista del cielo y montar tu propio telescopio portátil.

Vale la pena visitar estos parques de cielo oscuro de Estados Unidos:

- ✓ **Natural Bridges National Monument:** Este parque de cielo oscuro de Utah afirma que, por la noche, un puente “forma una ventana hacia el cielo lleno de miles de estrellas lo suficientemente brillantes como para hacer sombra”. Si deseas más información, consulta www.nps.gov/nabr/index.htm.
- ✓ **Parque Nacional Big Bend:** Este parque de cielo oscuro está en Texas, en el Río Grande. Puedes encontrarlo en su web www.nps.gov/bibe/index.htm.
- ✓ **Parque Observatorio Geauga County:** Este parque de Ohio tiene telescopios y estaciones meteorológicas y sísmicas. Su sitio web es www.geaugaparkdistrict.org/observatorypark.shtm
- ✓ **Parque Nacional Cherry Springs:** El Susquehannock State Forest de Pensilvania ofrece este parque de cielo oscuro que, con frecuencia, organiza fiestas de estrellas. Si deseas más información, visita su web www.dcnr.state.pa.us/stateparks/findapark/cherry

prings/index.htm.

- ✓ **Parque Nacional Clayton Lake:** Observa el cielo nocturno de Nuevo México desde el observatorio público o acude a charlas sobre el cielo ofrecidas por astrónomos. Consulta www.emnrd.state.nm.us/PRD/Clayton.htm.
- ✓ **Parque Nacional del Observatorio Goldendale:** Este parque de cielo oscuro del estado de Washington incluye telescopios para uso nocturno, “excursiones de constelaciones” y vistas diurnas de Venus cuando el planeta está en el cielo por la tarde. Su web es www.perr.com/gosp.html.
- ✓ **The Headlands:** Contempla el cielo nocturno en los Estrechos de Mackinac, al norte de Michigan. En www.emmetcounty.org/headlands, obtendrás más información.

Recursos disponibles en España

Asociaciones de Astronomía: En muchas de las capitales de provincia y poblaciones importantes existen asociaciones de astronomía que puedes encontrar fácilmente en internet. Contacta con ellas para estar informado de las fiestas de estrellas y otras actividades que organicen. Éstas son algunas de las más importantes:

- ASTER Agrupación Astronómica de Barcelona: <http://aster.cat/ca/index.html>
- Agrupación Astronómica de Madrid: <http://www.aam.org.es/>
- Agrupación Astronómica de Gran Canaria: <http://www.aagc.es/>
- Asociación Valenciana de Astronomía: <http://www.astroava.org/>
- Agrupación Astronómica de Sabadell: <http://www.astrosabadell.org/>

Revistas: Además de las que se citan anteriormente en este capítulo, aquí tienes tres publicaciones de referencia en español:

- *Astronomía:* Fue la primera revista española de astronomía, astrofísica y ciencias del espacio <http://www.astronomia-mag.com/>

- *Espacio*: Actualidad y reportajes sobre objetos celestes, exploración y conquista del espacio, astrobiología y ciencias de la tierra.
<http://www.grupov.es/revistas/11-espacio/revista>

- *Astronomía digital*: Publicación en línea gratuita para los aficionados a la astronomía <http://www.astro-digital.com/>

Observatorios: Por la excelente calidad de su cielo, España alberga numerosos observatorios, tanto nacionales como internacionales. Muchos de ellos ofrecen periódicamente visitas al público. Consulta sus páginas web:

- Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma, Canarias): Uno de los mayores y más importantes observatorios del hemisferio norte, comparable al de Mauna Kea en Hawái.
<http://www.iac.es/enophp?op1=2>

- Observatorio del Teide (Tenerife): Situado al pie del pico del Teide, este observatorio dispone de varios telescopios para la observación del Sol, además de otros telescopios nocturnos.
<http://www.iac.es/enophp?op1=3>

- Observatorio de Calar Alto (Almería): Está situado a más de 2.000 m de altitud en la Sierra de los Filabres. Su mayor telescopio tiene un diámetro de 3,5 metros. http://www.caha.es/p%C3%Algina_es.html

- Observatorio Astronómico del Montsec: Este pequeño observatorio se encuentra en lo alto de la Serra del Montsec, en la provincia de Lleida.
<http://www.parcastronomic.cat/observatori-astronomic-montsec.php?idioma=es>

- Observatorio Astronómico de Mallorca: Especializado en la búsqueda y seguimiento de cometas y asteroides a través de la observación del cielo con telescopios robóticos. <http://www.oam.es/>

Planetarios: Gran parte de los museos de ciencia repartidos por la geografía española disponen de planetario. Algunos ejemplos son:

- Planetario de Madrid: Además del planetario propiamente dicho, cuenta con varias salas dedicadas a distintos fines, siempre relacionados con la ciencia y la astronomía: <http://www.planetmad.es/planetario/general.html>

- Planetario de Pamplona: El Pamplonetario es un lugar abierto a la astronomía, a la ciencia y a muchas otras actividades.
<http://www.pamplonetario.org/>

- Parque Astronómico Montsec (Àger, Lleida): Además de sesiones de

planetario ofrece la posibilidad de observar el cielo con pequeños (y no tan pequeños) telescopios.
<http://www.parcastroonomic.cat/index.php?idioma=es>

• **Parques de cielo oscuro:** Existen varios lugares en España con la calificación Starlight: la isla de La Palma, la Reserva de la Biosfera de la Rioja y la Granadilla de Abona en Tenerife. Consulta sus páginas web para ver qué actividades astronómicas se realizan allí. Además, el Parque Astronómico Montsec (Àger, Lleida): ha obtenido recientemente la cualificación de Destino Turístico Starlight por las excelentes condiciones que ofrece para la observación del cielo.
<http://www.parcastroonomic.cat/index.php?idioma=es>

Si estás en Europa, quizá te interese explorar estos parques de cielo oscuro:

- ✓ **Galloway Forest Park** Este parque de cielo oscuro está en Escocia. Consulta www.forestry.gov.uk/darkskygalloway.
- ✓ **Sark Dark Sky Island:** En las Islas del Canal, delante de la costa de Normandía, Sark Dark Sky Island presume de que “la única contaminación de luz aquí es un brillo distante de Guernsey, Jersey y Francia”. Visita su web, www.socsercq.sark.gg/darkskies.html.
- ✓ **Parque Nacional Exmoor:** Situado al suroeste de Inglaterra, Exmoor fue la primera reserva de cielo oscuro internacional de Europa. Consulta www.exmoor-nationalpark.gov.uk.
- ✓ **Parque Nacional Hortobágy:** Este parque de cielo oscuro se encuentra en Hungría. Su web es www.hnp.hu/index_en.php.

En el hemisferio sur, puedes visitar:

- ✓ **Aoraki MacKenzie International Dark Sky Reserve:** Esta enorme reserva en la Isla Sur de Nueva Zelanda se extiende sobre más de 4.100 kilómetros cuadrados. Puedes obtener más información al respecto en la página de la IDA www.darksky.org/IDSReserves.

Cuando disfrutes de un parque de cielo oscuro internacional, reconocerás que tener “las luces apagadas” es bueno.

Capítulo 3

Tu forma de mirar esta noche: magníficas herramientas para observar el cielo

En este capítulo

- ▶ Te familiarizarás con el cielo nocturno
 - ▶ Observarás objetos a simple vista
 - ▶ Sacarás partido a los prismáticos y telescopios
 - ▶ Establecerás un plan de observación de éxito asegurado
-

Si alguna vez has salido fuera y has mirado el cielo nocturno, ya has observado estrellas y otros objetos en el cielo. La observación a simple vista puede distinguir colores y la relación entre objetos, como encontrar la Estrella Polar utilizando “estrellas de referencia” en el Carro.

A partir de una observación a simple vista, puedes dar pequeños pasos e ir añadiendo elementos ópticos para ver estrellas más tenues y observar objetos con más detalle. Primero, prueba con unos prismáticos y, después, pasa a un telescopio. Antes de darte cuenta, ¡serás astrónomo!

Pero creo que voy demasiado rápido. Primero, contempla tranquilamente el cosmos y descubre por tu cuenta su belleza y misterio. Puedes utilizar tres herramientas básicas, de las cuales como mínimo hay una que ya conocerás.



Tanto si utilizas los ojos, unos prismáticos o un telescopio, cada método de observación es ideal para determinados propósitos:

boreal, una conjunción planetaria (cuando dos o más planetas se acercan el uno al otro) o la conjunción entre un planeta y la Luna.

- ✓ **Prismáticos:** Unos buenos prismáticos son lo mejor para observar estrellas variables brillantes, que están demasiado lejos de sus *estrellas de comparación* (estrellas de brillo constante conocido que se utilizan como referencia para estimar el brillo de una estrella cuyo brillo varía) para verlas juntas a través de un telescopio. Y los prismáticos son maravillosos para recorrer la Vía Láctea y ver las brillantes nebulosas y cúmulos de estrellas que hay aquí y allá. Algunas de las galaxias más brillantes (como M31 en Andrómeda, las Nubes de Magallanes y M33 en Triangulum (el Triángulo) se ven mejor con prismáticos.
- ✓ **Telescopio:** Necesitas un telescopio para observar bien la mayoría de las galaxias y distinguir los miembros de las estrellas dobles cercanas, además de otros muchos usos. (Una estrella doble está formada por dos estrellas que parecen estar muy juntas; puede que estén o no cerca en el espacio, pero cuando están realmente juntas, forman un sistema de estrella binaria.)

En este capítulo, te comento estas herramientas de observación y te ofrezco un rápido manual básico sobre la geografía del cielo nocturno y un plan práctico para profundizar en la astronomía. Dentro de poco, observarás el cielo con facilidad.

Cómo ver estrellas: manual básico de geografía celeste

Si se mira desde el hemisferio norte, todo el cielo parece girar en torno al Polo Norte Celeste (PNC). Cerca del PNC, se encuentra la Estrella Polar (también llamada Polaris), un buen punto de referencia para los observadores de estrellas porque siempre aparece prácticamente en el mismo lugar del cielo durante toda la noche (y todo el día, pero de día no la ves).

En los apartados siguientes, te enseñaré a familiarizarte con la Estrella Polar y te indicaré algunas cosas nuevas sobre las constelaciones.

Mientras la Tierra da vueltas...

Nuestro planeta gira. El filósofo griego Heráclides Pónico proclamó ese

concepto en el siglo IV a J. C., pero la gente dudaba de sus observaciones porque pensaba que, si sus teorías eran ciertas, todos tendrían que marearse, como quien se monta en un tiovivo o en un carro que da vueltas a toda pastilla. No se podían imaginar que la Tierra girara sin que ellos sintieran sus efectos físicamente. En la antigua Grecia, pensaban que el Sol giraba alrededor de la Tierra, y que daba una vuelta completa todos los días (no sentían los efectos de la rotación de la Tierra, como nos pasa a ti y a mí, porque son efectos demasiado nimios como para notarse).

La prueba de que la Tierra giraba, es decir, de la *rotación*, no se encontró hasta 1851, más de dos mil años después de Heráclides (en aquella época los investigadores no tenían demasiada financiación del gobierno, por eso se avanzaba muy despacio). La prueba llegó de la mano de un gran francés. Consistía en una bola de metal pesado suspendida del techo de la iglesia del Panteón de París por un hilo de 67 metros. Este dispositivo recibió el nombre de *péndulo de Foucault* por el físico francés que tuvo esta idea. Si mirabas con un ojo el péndulo mientras se balanceaba delante y atrás todo el día, veías que la dirección que tomaba la bola por encima del suelo cambiaba poco a poco, como si el suelo estuviera girando debajo de ella. Y es que estaba girando, el suelo gira con la Tierra.



Si no estás convencido de que la Tierra gira, o si te gusta mirar péndulos, puedes ver un péndulo de Foucault de latón de 108 kilos en la rotonda del Observatorio Griffith, en Los Ángeles (www.griffithobs.org/exhibits/brotunda.html). En Inglaterra, puedes ver el péndulo de Foucault de la Universidad de Mánchester (www.mace.manchester.ac.uk/project/teaching/civil/structuralconcepts/Dynamics/pendulum/pendulum_pra3.php).

En cambio, si ya crees que la Tierra gira, puedes verificar esa conclusión mientras te tomas tu bebida preferida y miras la puesta de sol por el oeste.

Tal y como explico en el capítulo 1, la rotación de la Tierra alrededor de su eje hace que las estrellas y otros objetos celestes parezcan moverse a través del cielo de este a oeste. Además, el Sol se mueve a través del cielo durante el año en un círculo denominado *eclíptica* (si pudieras ver las estrellas durante el día, te darías cuenta de que el Sol se mueve hacia el oeste a través de las constelaciones, día tras día). La eclíptica está inclinada $23,5^\circ$ respecto al ecuador celeste, el mismo ángulo por el que el eje de la Tierra está inclinado respecto a la perpendicular a su plano orbital.

Los planetas se mantienen cerca de la eclíptica mientras se mueven a lo largo

del año. Su movimiento es sistemático a través de doce constelaciones situadas en la eclíptica, que, colectivamente, se denominan *Zodiaco*: Aries, Tauro, Géminis, Cáncer, Leo, Virgo, Libra, Escorpio, Sagitario, Capricornio, Acuario y Piscis. Los nombres de estas constelaciones son los que los aficionados a la astrología llaman signos del Zodiaco. (De hecho, hay una constelación número trece, Ofiuco, que interseca la eclíptica, pero en la Antigüedad no se incluía en el Zodiaco, y por eso no es un signo zodiacal.)

La progresión constante de la Tierra a lo largo de su órbita alrededor del Sol tiene como resultado una apariencia distinta del cielo nocturno durante el transcurso del año (ese efecto también provoca que el Sol se mueva alrededor del círculo de la eclíptica; cuando la Tierra se mueve, vemos el Sol en distintas direcciones contra el fondo de estrellas fijas). Las estrellas no están situadas en los mismos sitios respecto al horizonte a lo largo de la noche ni a lo largo del año (la Estrella Polar es una excepción porque está prácticamente siempre en el mismo lugar todas las noches.) Las constelaciones que aparecían altas en el cielo al atardecer de hace un mes hoy están más bajas al oeste después de la puesta de sol. Y si ves las constelaciones que están bajas al este justo antes del amanecer, sabrás qué ver a medianoche dentro de unos meses.



Para seguir el rastro de las constelaciones, utiliza los mapas celestes que incluyen mensualmente revistas de astronomía como *Sky & Telescope* y *Astronomy*. (En el capítulo 2 tienes más información sobre revistas). Tu diario también contiene mapas de los cielos de la tarde, o puedes comprarte un planisferio económico: muestra un disco giratorio en un marco cuadrado con un agujero que representa los límites de lo que puedes ver. Lo ideal es un planisferio diseñado para tu latitud, aunque sea de forma aproximada.

Éstos son dos buenos planisferios que puedes comprar:

- ✓ *El cielo nocturno*, de David Chandler, disponible en cinco versiones, para varias latitudes, y en dos tamaños. Compra la versión que corresponda a tu latitud en tamaño grande.
- ✓ *Guide to the Stars*, de David H. Levy, es más grande que la mayoría de los planisferios, adecuado para prácticamente todo Estados Unidos, el Reino Unido y puntos de latitudes comprendidas entre 30° y 60° norte.

Puedes comprar planisferios en The Sky & Telescope Shop (www.shopatsky.com), Astronomics (www.astronomics.com) y la tienda en línea de la Astronomical League (www.astroleague.org/store/index.php). También los puedes encontrar en Amazon.com y en establecimientos similares.

También puedes encargar un reloj planisferio; visita Edmund Scientifics (www.scientificsonline.com). (Imagínate que alguien te para por la calle para preguntarte la hora y respondes: “Pues, ¡Leo en punto!”)

Utilizar un planisferio te ayuda a comprender los movimientos de las estrellas a medida que giras el disco para ver las estrellas en distintas horas y fechas. En cambio, si no te interesa aprender este tipo de cosas y sólo quieres saber qué constelaciones hay en el cielo, es mejor que te descargues una aplicación de planisferio económica o gratuita (también se conocen como *aplicación planetario*) para tu *smartphone* o *tablet*, tal y como describo en el capítulo 2.

... no pierdas de vista la Estrella Polar

Cualquiera puede salir al aire libre en una noche clara y ver algunas estrellas. Pero ¿cómo sabes qué estás viendo? ¿Cómo puedes volver a encontrarlo? ¿En qué hay que fijarse?

Si vives en el hemisferio norte, una de las formas más tradicionales de familiarizarse con el cielo nocturno es prestar atención a la Estrella Polar, o Polaris, pues apenas se mueve. Cuando localices dónde está el norte, podrás orientarte por el resto del cielo del norte, o por cualquier otra zona celeste, de hecho. En el cielo del sur, tienes que encontrar las estrellas brillantes Alfa y Beta Centauri (un planisferio del hemisferio sur, aplicación de *smartphone* o un simple mapa estelar pueden serte útiles). Estas dos estrellas apuntan hacia la Cruz del Sur.

Puedes encontrar fácilmente la Estrella Polar utilizando el Carro de la constelación Ursa Major (consulta la figura 3-1). El Carro es una de las figuras celestes que se reconocen con mayor facilidad. Si vives en Estados Unidos (parte continental), Canadá o el Reino Unido, lo puedes ver todas las noches del año. (En España también.)

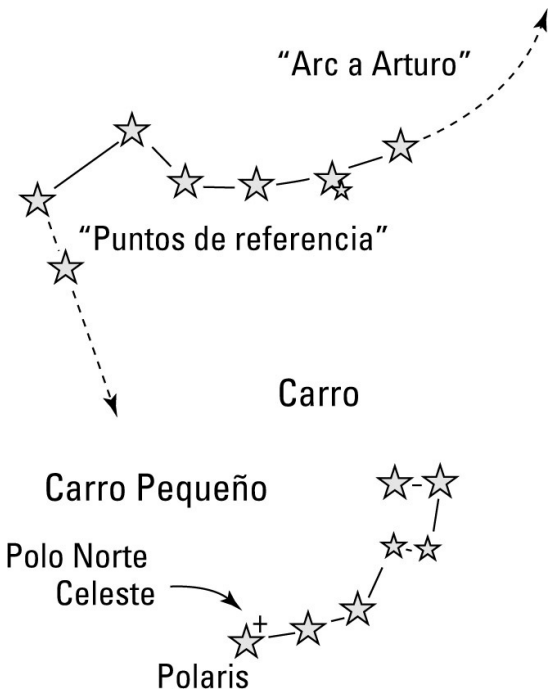


Figura 3-1:

El Carro señala hacia otras vistas del cielo

Las dos estrellas más brillantes del Carro, Dubhe y Merak, forman uno de sus extremos y señalan directamente a la Estrella Polar. El Carro te ayuda a localizar la brillante Arturo, en Bootes (el pastor de bueyes): basta con imaginar una continuación suave de las estrellas del carro, como en la figura 3-1.

Las estrellas que están cerca de Polaris nunca se ocultan por debajo del horizonte en España, ni en la mayoría de las latitudes de Europa y Norteamérica, lo que hace que sean *estrellas circumpolares*. Parece que den vueltas alrededor de Polaris. La Ursa Major es una constelación circumpolar vista desde prácticamente todo el hemisferio norte. La zona circumpolar del cielo depende de tu latitud. Cuanto más cerca estés del Polo Norte, más circumpolar es el cielo. Y, en el hemisferio sur, cuanto más al sur estés, mayor será la parte circumpolar del cielo. Si una constelación es circumpolar en el hemisferio norte, no puede ser circumpolar en el sur, y viceversa.

Orion es una constelación visible inconfundible del cielo de las tardes de invierno en el hemisferio norte. Las tres estrellas que integran su cinturón apuntan en dirección a Sirio, en Canis Major, y en dirección opuesta a Aldebarán, en Tauro. Orion también contiene las estrellas de primera magnitud Betelgeuse y Rigel, dos luceros brillantes en el cielo (consulta la figura 3-2). Si quieres obtener más información sobre la magnitud de las estrellas, consulta el capítulo 1.

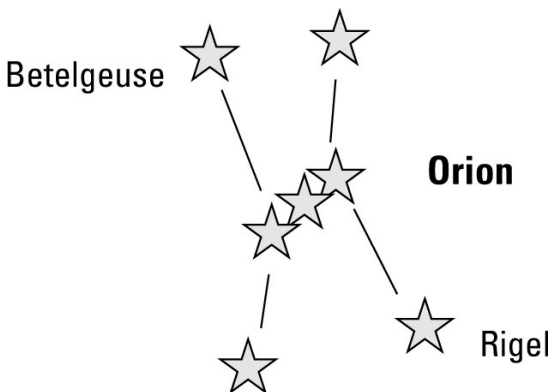


Figura 3-2:

Orion y sus estrellas Rigel y Betelgeuse, que parecen luceros



Puedes familiarizarte con el cielo nocturno mirando los mapas de constelaciones de este libro (Apéndice A) y comprobándolo con tus propios ojos. Si te aprendes las calles de tu ciudad, te orientas más de prisa, ¿verdad? Pues conocer las constelaciones te ayuda a fijar la mirada en los objetos celestes que quieres observar. Si conoces el cielo podrás hacer un seguimiento de la aparición de las estrellas y sus movimientos cuando maniobres a través de una sesión nocturna.

Para empezar, una observación a simple vista

Lo primero que debes hacer es conocer los puntos cardinales que señalaría la brújula en tu zona. Cuando te hayas familiarizado con ellos, sabrás dónde están el norte, el sur, el este y el oeste. Una vez sepas orientarte, puedes utilizar los puntos del cielo semanales de la web de *Sky & Telescope* (www.skyandtelescope.com), un planisferio, una aplicación para *smartphone* de tipo planetario o un programa planetario para el ordenador que te oriente hacia las estrellas y los planetas más brillantes del cielo cuando hagas la observación. (Para obtener más información sobre estos recursos de astronomía, consulta el capítulo 2 y apartados anteriores de este capítulo.) Cuando reconozcas las estrellas brillantes, te será más fácil identificar las figuras formadas por las estrellas más tenues que están a su alrededor.

En la tabla 3-1 encontrarás algunas de las estrellas más brillantes que puedes ver en el cielo nocturno, las constelaciones que las contienen y sus magnitudes (es decir, la cantidad de brillo. Para más información sobre este punto, consulta el capítulo 1). Muchas de ellas son visibles desde la zona continental de Estados Unidos, el Reino Unido y Canadá, así como también desde España. Otras solamente se pueden ver desde latitudes del sur; así, las estrellas brillantes que no puedes ver en España pueden admirarse en Sudamérica. Consulta el capítulo 11 para obtener información sobre la *clase espectral*, una indicación del color y la temperatura de una estrella (por ejemplo, las estrellas de clase espectral B son blancas y bastante calientes, y las estrellas M son rojas y relativamente frías).



Inicia tus observaciones consultando uno de los recursos de mapas celestes que te he descrito y mira cuántas de las estrellas más brillantes

puedes localizar de noche. Después, identifica algunas de las estrellas más tenues de las mismas constelaciones. Evidentemente, fijate en los planetas brillantes: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno (que comento en los capítulos 6 y 8).

Tabla 3-1. Las estrellas más brillantes tal y como se ven desde la Tierra

<i>Nombre común</i>	<i>Magnitud aparente</i>	<i>Nombre de la constelación</i>	<i>Clase espectral</i>
Sirio	-1,5	α Canis Majoris	A
Canopus	-0,7	α Carinae	A
Rigil Kentaurus	-0,3	α Centauri	G
Arturo	-0,04	α Bootis	K
Vega	0,03	α Lyrae	A
Capella	0,1	α Aurigae	G
Rigel	0,1	β Orionis	B
Proción	0,4	α Canis Minoris	F
Achernar	0,5	α Eridani	B
Betelgeuse	0,5	α Orionis	M
Hadar	0,6	β Centauri	B
Acrux	0,8	α Crucis	B
Altair	0,8	α Aquilae	A
Aldebarán	0,9	α Tauri	K
Antares	1,0	α Scorpii	M
Spica (o Espiga)	1,0	α Virginis	B
Pólux	1,1	β Geminorum	K
Fomalhaut	1,2	α Piscis Austrini	A
Deneb	1,3	α Cygni	A

En invierno y en verano, la Vía Láctea está alta en la mayoría de las zonas del hemisferio norte. Si puedes reconocer la Vía Láctea, una banda ancha y ligeramente luminosa que cruza el cielo, significa que, como mínimo, estás en un buen lugar de observación. Si la Vía Láctea parece brillante, debes de estar en un punto de cielo oscuro como los que describo en el capítulo 2.



A la hora de hacer una observación a simple vista, el paso más importante es proteger tus ojos de las luces de interferencia. Si no puedes ir a un lugar oscuro en el campo, encuentra un punto oscuro en el jardín de tu casa o quizá en la azotea de un edificio. No eliminarás la contaminación lumínica de lo alto del cielo que generan las luces de tu ciudad, pero los árboles o la pared de una casa pueden impedir que el brillo de las luces cercanas, por ejemplo, las farolas de la calle, te dé en los ojos. Al cabo de diez o veinte minutos, podrás ver estrellas más tenues, eso significa que estarás “adaptándote a la oscuridad”.

¿Hasta qué punto brilla lo que es brillante?

Hablo sobre la magnitud en el capítulo 1, pero es útil saber que los astrónomos pueden definir la magnitud de distintas formas según el propósito que persigan:

✓ **Magnitud absoluta** es el brillo de un objeto celeste visto desde una distancia estándar de 32,6 años luz. Los astrónomos consideran que es la “verdadera” magnitud del objeto.

✓ **Magnitud aparente** es lo brillante que parece un objeto desde la Tierra, que suele ser diferente a su magnitud absoluta, en función de lo lejos que el objeto celeste esté de la Tierra. Una estrella que esté cerca de la Tierra puede parecer más brillante que una que esté más lejos, a pesar de que su magnitud absoluta sea más débil.

✓ **Magnitud límite** es la magnitud aparente de la estrella más tenue que puedas ver. Dependerá de lo despejado que esté el cielo en el momento de la observación y de lo oscuro que sea el cielo. Por ejemplo, una estrella muy brillante puede ser invisible si tenemos muchas nubes sobre la cabeza, y las luces de la ciudad o la luna llena pueden interferir a la hora de ver estrellas más tenues que, si hay buenas condiciones, verías a simple vista. La magnitud límite es especialmente importante en observaciones de meteoros y del cielo profundo. En una noche despejada y oscura, puede ser de 6 en el céntip, pero, en la ciudad, esta magnitud puede ser de 3 o 4.

En los mapas estelares se representan las magnitudes aparentes de las estrellas para simular su apariencia en el cielo.

ciudad de la zona de los lagos Finger del norte de Nueva York, comprobé que, si doblaba la esquina de un edificio para protegerme de las farolas cercanas, veía el cometa mucho mejor.

Lo ideal es encontrar un sitio que tenga un buen horizonte, con árboles y edificios bajos a lo lejos, pero dar con ese tipo de ubicación es prácticamente imposible en una gran área urbana.



Si no consigues encontrar un sitio que tenga un buen horizonte en todas las direcciones, el horizonte más importante es el del sur (si vives en el hemisferio norte). Tú realizas la mayoría de las observaciones del hemisferio norte mientras estás de cara al sur (con el este a la izquierda y oeste a la derecha). Cuando estás de cara al sur, las estrellas salen por tu izquierda y se ponen por tu derecha. Si observas desde el hemisferio sur, debes hacer este procedimiento al revés y ponerte de cara al norte: las estrellas salen por el este (a tu derecha) y se ponen por el oeste (a tu izquierda).



Lleva siempre reloj, un cuaderno y una linterna de luz roja o tenue para registrar lo que ves. Algunas linternas incluyen una bombilla roja. Otra opción es comprar celofán rojo en una papelería y cubrir la lámpara. Después de adaptarte a la oscuridad, la luz blanca reduce tu capacidad para ver estrellas tenues, pero la luz roja tenue no perjudica a tu adaptación a la oscuridad.

Usa prismáticos o un telescopio para mejorar tu observación

Igual que ocurre en cualquier nueva afición, es útil experimentar e investigar todo lo que tienes a tu alcance antes de comprarte un equipo caro. No es recomendable comprar un telescopio hasta haber visto varios de distintos tipos y haberlo hablado con otros observadores. En los siguientes apartados, te ofrezco consejos para que elijas los prismáticos o el telescopio más adecuados para ti.



Ni se te ocurra mirar al Sol con un telescopio o con prismáticos sin utilizar procedimientos seguros y el equipo especial que comento en el apartado “Precauciones vitales antes de observar el Sol”, más adelante en este

capítulo, y que describo con más detalle en el capítulo 10. Si no, puedes sufrir daños permanentes.

Prismáticos: barre el cielo nocturno

Es imprescindible que tengas unos buenos prismáticos. Compra unos o pídelos prestados y observa con ellos antes de comprarte un telescopio. Los prismáticos son excelentes para muchos tipos de observación. Además, si abandonas la astronomía (¡sería una lástima!), los podrías utilizar para muchos otros tipos de observación. Si te han prestado los prismáticos, asegúrate de devolverlos antes de que te miren mal.



Los prismáticos son fantásticos para observar estrellas variables, buscar cometas y novas brillantes y barrer el cielo simplemente para disfrutar de las vistas. Puede que nunca descubras un cometa por tu cuenta, pero querrás ver algunos de los más brillantes cuando aparezcan. Para ello, no hay nada mejor que unos buenos prismáticos.

En los siguientes apartados explico de qué forma se especifican las características técnicas de los prismáticos y te enseño los pasos que debes dar para saber qué prismáticos comprar. En la figura 3-3 puedes ver las partes que componen unos prismáticos.

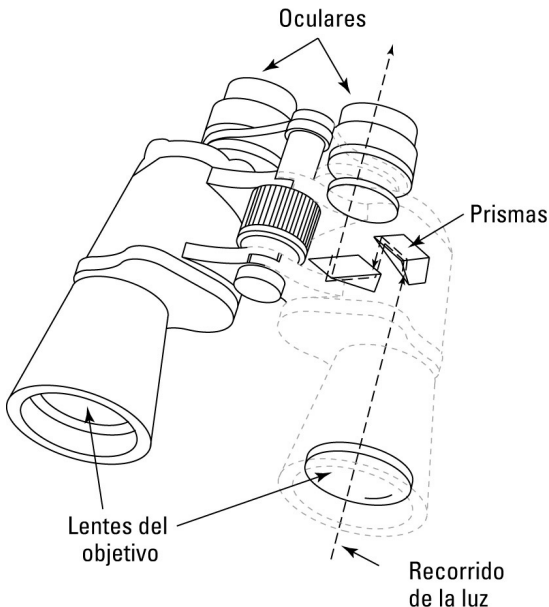


Figura 3-3:

Unos prismáticos son como un par de telescopios coordinados para tus ojos

Prismas, cristal y formas

Unos prismáticos contienen prismas para doblar el rayo de luz que van de las dos grandes lentes (*lentes del objetivo*) hacia las dos lentes pequeñas (*oculares*) por las que miras. Es necesario, ya que los oculares no pueden estar más separados que la distancia que hay entre tus ojos; si no, no podrías mirar por ambos oculares a la vez. Los objetivos son más grandes que tus ojos, por eso tienen que estar más separados; por lo tanto, el rayo de luz que atraviesa los

prismáticos tiene que ser doblado.

Los dos tipos básicos de prisma de unos prismáticos son los siguientes:

- ✓ **Prisma de tejado:** Se utiliza en prismáticos relativamente largos y estrechos; es el tipo favorito de la gente que observa pájaros.
- ✓ **Prisma de porro:** Se utiliza en prismáticos relativamente anchos y cortos; son el tipo más adecuado para observar estrellas porque ofrecen imágenes más brillantes para lentes del mismo tamaño. Además, es más fácil sostener prismáticos anchos de forma estable.

Los prismáticos utilizan dos clases de vidrio:

- ✓ **Vidrio BK-7:** Término especializado que hace referencia al vidrio de borosilicato común que se suele utilizar en prismáticos económicos.
- ✓ **Vidrio BaK-4 o vidrio *crown* de bario:** Se utiliza en prismáticos de buena calidad y suelen ofrecer imágenes más brillantes de objetos astronómicos tenues.

Cómo descifrar los números que aparecen en los prismáticos

Los prismáticos pueden ser de muchos tamaños y tipos, pero cada par de prismáticos se describe mediante una clasificación numérica: 7×35 , 7×50 , 16×50 , 11×80 , y así sucesivamente (se lee “7 por 35, 7 por 50, 16 por 50 y 11 por 80”. No digas “7 veces 35”). Aquí tienes una explicación de los números:

- ✓ El primer número es el aumento óptico. Unos prismáticos de 7×35 o 7×50 hacen que veas los objetos siete veces más grandes que a simple vista.
- ✓ El segundo número es la apertura, o diámetro, de las lentes que captan la luz (las lentes grandes) de los prismáticos, medido en milímetros. Los prismáticos de 7×35 y 7×50 tienen la misma potencia de aumento, pero los de 7×50 tienen lentes más grandes que captan más luz y te muestran estrellas más tenues que los de 7×35 .

También debes tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Unos prismáticos más grandes revelan objetos más tenues que unos más pequeños, pero pesan más y son más difíciles de sostener para apuntar hacia el cielo de forma estable.
- ✓ Los prismáticos que tienen mayor aumento, como 10×50 y 16×50 , muestran objetos con mayor claridad, siempre que puedas cogerlos con suficiente firmeza, pero tienen campos de visión más reducidos, por eso resulta más difícil encontrar los objetos celestes que con unos prismáticos de menor aumento.
- ✓ Los prismáticos gigantes (11×80 , 20×80 y de más aumento) pesan mucho y es difícil sujetarlos con firmeza; muchas personas no los pueden utilizar a menos que tengan un trípode o soporte. Los más grandes, de 40×150 , se deben utilizar con un soporte.
- ✓ Existen muchos tamaños intermedios, como 8×40 o 9×56 .



Mi opinión es la siguiente: el mejor tamaño para la mayor parte de propósitos astronómicos es 7×50 y, sin duda, cuando se empieza es el mejor. Si compras prismáticos más pequeños que 7×50 , te estarás equipando para observar pájaros, pero no para hacer observaciones astronómicas. La mayoría de los astrónomos pueden utilizar unos prismáticos de 7×50 sin trípode ni soporte, a pesar de que a algunas personas les costará mucho sujetar firmemente los prismáticos.

Si compras unos prismáticos de un tamaño mayor que 7×50 , habrás invertido en un trasto enorme que utilizarás en contadas ocasiones.

Cómo asegurarte de que esos prismáticos sean los más adecuados para ti

Lo primordial es que no compres unos prismáticos a menos que puedas devolverlos después de un período de prueba. Para hacer una comprobación básica y saber si vale la pena que te los quedes, sigue estos pasos:

- ✓ La imagen debería ser nítida a través del campo de visión cuando

mires a un campo de estrellas.

- ✓ No deberías tener dificultades para ajustar los prismáticos a tu visión, lo que significa que, como mínimo, uno de los oculares (las lentes pequeñas que están cerca de tus ojos cuando miras a través de los prismáticos) debe contar con un ajuste separado.
- ✓ Cuando ajustas el foco, debería cambiar de forma suave. Las imágenes de estrellas deberían ser puntos nítidos cuando están enfocadas y tener una forma circular cuando no lo estén.
- ✓ En muchos prismáticos, se colocan unas capas transparentes especiales en las lentes del objetivo (las lentes grandes). Esta característica, denominada *multicapa*, produce una visión más clara y contrastada de los campos de estrellas. Los prismáticos *totalmente multicapa* son mejores, ya que incluyen capas en todos sus prismas y lentes.



Algunos astrónomos llevan gafas cuando observan con prismáticos. Otros, como yo, están más cómodos quitándoselas cuando los utilizan. Si te las quitas, quizá te cueste tomar notas o leer un mapa estelar, por ejemplo. Al elegir los mejores prismáticos para ti, debes considerar si te quitarás las gafas o no, tal y como explicaré a continuación.

Si prevés llevar gafas cuando observes con prismáticos, necesitas unos prismáticos que tengan suficiente *relieve ocular*, es decir, suficiente distancia (medida en milímetros) desde la superficie exterior del ocular hasta el *punto focal*, el lugar en el que los prismáticos enfocan la imagen. Si tu ojo está a mayor distancia que la del ocular, no puedes ver todo el campo de visión. Eso ocurre cuando el grosor de tus gafas impide que tu ojo llegue hasta el punto focal. Mi consejo es que no hagas caso de los vendedores y de las descripciones de los fabricantes de prismáticos sobre el relieve ocular. Basta con que realices esta sencilla prueba en los prismáticos que quieras comprar:

1. **Quítate las gafas y enfoca los prismáticos hacia una escena que esté a una manzana de distancia (o en el cielo).**
Fijate en qué parte de la escena se ve.
2. **Ponte las gafas.**

Si los oculares tienen copas oculares de goma, dóblalas para

acercarte más a los oculares con las gafas puestas.

3. **Enfoca los prismáticos hacia la misma escena que antes.**

Si ves menos parte de la escena con las gafas, significa que los prismáticos no tienen suficiente relieve ocular.



Los prismáticos de calidad se venden en ópticas y tiendas especializadas en instrumentos científicos. Algunas tiendas de fotografía grandes tienen selecciones de prismáticos que están bien. Recomiendo evitar los grandes almacenes. Algunos venden productos de baja calidad o prismáticos fantásticos a precios desorbitados. Además, estoy convencido de que los vendedores de estos grandes almacenes saben menos que tú.

Puedes pagar cientos de euros o incluso miles por unos buenos prismáticos de 7×50 , pero si buscas bien, puedes encontrar unos adecuados por menos de 90 € o menos (las casas de empeños y las tiendas de excedentes militares son sitios magníficos donde puedes mirar). Normalmente, los prismáticos de segunda mano salen bien, pero pruébalos antes de comprarlos porque podrían estar desajustados.

Muchos astrónomos compran los prismáticos a fabricantes y vendedores al detalle especializados que se anuncian en revistas de astronomía y por internet (consulta el capítulo 2 para obtener más información sobre estos recursos). Si tienes que hacer el pedido por correo (o por internet), pide a algún astrónomo aficionado experimentado que hayas conocido en algún club de astronomía o al personal de un planetario que te recomiende a un vendedor.

Algunos reconocidos fabricantes de prismáticos son Bushnell, Canon, Celestron, Fujinon, Meade, Nikon, Orion, Pentax y Vixen. Algunos prismáticos de alta gama de Canon y Nikon tienen estabilizador de imagen, una característica de alta tecnología que hace que la imagen sea mucho más firme. Resulta muy útil cuando estás en una barca que se balancea en el mar y suelen ser también de gran ayuda en tierra.

Telescopios: cuando la proximidad importa

Si quieres mirar los cráteres de la Luna, los anillos de Saturno o la Gran Mancha Roja de Júpiter (describo todos estos elementos en la parte II), necesitas un telescopio. Y también son imprescindibles para observar estrellas variables tenues o ver cualquier cosa excepto las galaxias más brillantes o las pequeñas y bonitas nubes brillantes llamadas *nebulosas planetarias*, que no tienen nada que

ver con los planetas (consulta los capítulos 11 y 12).



Antes de mirar el Sol o cualquier objeto que se cruce por delante de éste, acuérdate de leer las instrucciones especiales del capítulo 10 para protegerte los ojos ¡y evitar quedarte ciego!

En los apartados siguientes, te explico los diferentes tipos de telescopios, monturas... y te ofrezco consejos para comprar, de manera que puedas encontrar el mejor telescopio en función de tus necesidades.

Clases de telescopios

Los telescopios son de tres tipos:

- ✓ Refractores: Utilizan las lentes para recoger y concentrar la luz (figura 3-4). En la mayoría de los casos, miras directamente a través del refractor.
- ✓ Reflectores: Utilizan espejos para recoger y concentrar la luz (figura 3-5). Hay distintos tipos de reflectores:
 - En un Newtoniano, miras a través de un ocular en ángulo recto respecto al tubo del telescopio.
 - En un telescopio Cassegrain, miras a través de un ocular en la parte posterior.
 - Un reflector Dobson te da el máximo de apertura (la que recoge más luz) por tu dinero, pero quizá necesites un taburete o una escalera plegable para utilizarlo porque suelen ser mucho más grandes que otros telescopios para aficionados (porque los Dobson de mayor tamaño son más asequibles), y el ocular está situado cerca de la parte superior.
- ✓ Los de tipo Schmidt-Cassegrain y Maksutov-Cassegrain utilizan tanto espejos como lentes. Estos modelos son más caros que otros reflectores con aperturas comparables.

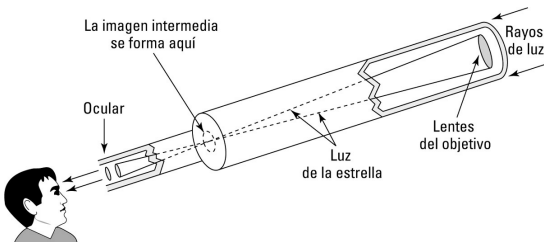
Estos telescopios están disponibles en muchas variedades. Además, cada telescopio para uso no profesional viene equipado con un *ocular*, es decir, una lente especial (de hecho, una combinación de lentes montadas juntas que forman

una unidad) que aumenta la imagen enfocada para que se pueda ver. Cuando haces fotografías, normalmente quitas el ocular y montas la cámara en su lugar.

Igual que ocurre con un microscopio o con una cámara de lentes intercambiables, puedes utilizar oculares intercambiables prácticamente con cualquier telescopio. Algunas empresas no hacen telescopios, sino que se especializan en la fabricación de oculares que funcionan con muchos tipos de telescopios distintos.



Los principiantes normalmente compran los oculares con el máximo aumento posible, una fantástica manera de tirar el dinero. Recomiendo oculares de potencia baja y media porque, cuanto mayor sea la potencia, menor será el campo de visión, lo que haría más difícil hacer un seguimiento de objetivos tenues (y, posiblemente, brillantes). En el caso de telescopios pequeños, la observación suele ser mejor con oculares que den aumentos de 25x o 50x, no 200x o más (la x significa “veces”, 25 veces más grande de lo que ves a simple vista). Si ves un telescopio que anuncian por su “elevada potencia”, puede que los anunciantes intenten vender productos mediocres a compradores poco informados. Si un vendedor pregonara lo elevada que es la potencia de un telescopio, compra en otra tienda.



Dinah L. Moché/Astronomy: A Self-Teaching Guide, séptima edición

Figura 3-4:

Un telescopio refractor utiliza lentes para captar y concentrar la luz.

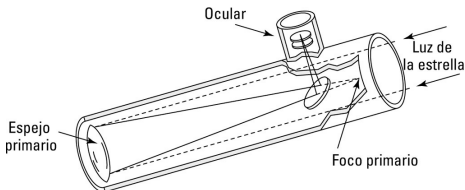


Cómo calcular el aumento de tu ocular

Los oculares suelen estar marcados con su longitud focal en milímetros y un ocular puede proporcionar distintos aumentos con diferentes telescopios. Si conoces la longitud focal de tu telescopio, puedes calcular el aumento que proporciona un ocular concreto. Sigue estos pasos para determinar el aumento que proporciona el ocular a tu telescopio:

1. Determina la longitud focal del telescopio en milímetros. Si tu telescopio indica la longitud focal, anótala y salta al paso 2. Para calcular la longitud focal, multiplica el número $f/$ que aparece en el telescopio, por ejemplo, $f/5,6$ o $f/8$, por el diámetro del espejo o lentes principales. Por ejemplo, si el diámetro es de 150 milímetros y el número $f/$ es $f/8$, la longitud focal es $150 \times 8 = 1.200$ milímetros. Si el diámetro está expresado en pulgadas, a veces ocurre, multiplica primero la medida en pulgadas por 25,4 (el número de milímetros por pulgada). Por ejemplo, si el diámetro es de 5 pulgadas, $5 \times 25,4 = 127$ milímetros.

2. Divide la longitud focal de tu telescopio por la longitud focal del ocular. Si la longitud focal del telescopio es de 1.200 milímetros y la longitud focal del ocular es de 25 milímetros, el ocular proporciona un aumento de 48 veces ($1.200 / 25 = 48$).



Dinah L. Moché/Astronomy: A Self-Teaching Guide, séptima edición

Figura 3-5:

El científico inglés sir Isaac Newton inventó el reflector, que utiliza espejos para



Lo que limita tu visión de detalles con un telescopio pequeño no es la potencia del ocular. Los efectos que limitan la claridad de tu visión son la turbulencia del aire (el factor que hace que parezca que las estrellas parpadeen) y cualquier temblor del telescopio por la brisa.

Colorea tu universo

¿Qué ves cuando miras un objeto celeste a través de tus prismáticos o de tu telescopio? ¿Ves gloriosas estrellas, planetas y objetos celestes de colores brillantes, como aparecen en los grandes libros ilustrados? ¡No!

Perdona la provocación, pero es probable que veas la mayor parte de las estrellas y objetos celestes con colores pálidos. A simple vista, con prismáticos, o con telescopio, la mayoría de las estrellas parecen blancas o blanquecinas (amarillentas, no exactamente amarillas). Los colores son más vívidos cuando las estrellas adyacentes tienen colores que contrastan, como se puede apreciar al mirar algunas estrellas dobles a través de un telescopio.

A la mayoría de las fotos de objetos celestes les han mejorado el color, y tradicionalmente se describen como de *color falso*. Los astrónomos no utilizan el color falso para decorar el universo, que ya está bien como es. Tampoco se hace para dar una falsa impresión del cielo profundo. De hecho, la mejora perfecciona la búsqueda de la verdad, de forma muy parecida a cuando una marca en una imagen médica hace destacar algún detalle de las células y ayuda a identificar relaciones y diferencias físicas.

En función del método de observación y presentación, las fotos de un mismo objeto pueden ser increíblemente distintas. Todas indican a los científicos diferencias en la estructura del objeto, las sustancias que podría contener y los procesos dinámicos que se producen en ellas. Además, muchas imágenes astronómicas se obtienen con luz invisible para el ojo humano (como los rayos X, ultravioletas e infrarrojos), por eso, los astrónomos utilizan un color falso ante esta ausencia de cualquier color reconocible.

Tipos de montura de telescopio

En general, hay dos opciones para montar un telescopio sobre una

plataforma, trípode o pilar:

- ✓ Con una *montura altazimutal* puedes mover el telescopio arriba y abajo y de un lado a otro, en altitud (plano vertical) y azimut (plano horizontal). Debes ajustar el telescopio en ambos ejes para compensar el movimiento del cielo a medida que la Tierra gira. Los reflectores Dobson siempre utilizan una montura altazimutal.
- ✓ Con la *montura ecuatorial*, que es más cara, alineas un eje del telescopio para que señale directamente al Polo Norte Celeste o, para observadores del hemisferio sur, el Polo Sur Celeste. Después de localizar un objeto, basta con que gires el telescopio alrededor del eje polar para mantener la observación. Asegúrate de hacer la alineación polar del telescopio antes de cada sesión de observación.

Una montura altazimutal suele ser más estable y más fácil de utilizar para un principiante, pero una montura ecuatorial es mejor para hacer un seguimiento de las estrellas que salen y se ponen. En cambio, si un telescopio tiene control por ordenador incorporado (como en los dos modelos que recomiendo más adelante), cualquier clase de montura es correcta porque el ordenador se ocupa del seguimiento.

Los objetos que ves en el telescopio normalmente están al revés, algo que no ocurre con los prismáticos. Evidentemente, no es que suponga una gran diferencia a la hora de observar, pero debes saber que la parte superior y la inferior se invierten cuando miras a través de un telescopio. El hecho de añadir una lente para rotar la imagen tiene el inconveniente de que reduce la cantidad de luz que llega a través del telescopio y hace que la imagen sea más tenue; por lo tanto, es aconsejable no hacerlo. Cuando se mira a través de un telescopio con montura ecuatorial, un campo de estrellas mantiene la misma orientación cuando sale y cuando se pone. En cambio, cuando se mira a través de un telescopio con montura altazimutal, el campo gira durante la noche, así que las estrellas que están en la parte superior acaban a un lado.



Cómo comprar un telescopio de forma inteligente (y económica)

Comprar un telescopio económico fabricado en serie, es decir, un telescopio

de grandes almacenes, suele ser tirar el dinero. Incluso así, cuesta más de 80 €, o quizá varios cientos de euros.

Un buen telescopio nuevo puede costar entre varios cientos de euros y unos 1.000 € y seguro que puedes llegar a pagar más. De todas formas, tienes alternativas:

- ✓ Los telescopios de segunda mano se suelen vender a través de anuncios en revistas de astronomía o en *newsletters* de clubes de astronomía locales. Si puedes inspeccionar y probar un telescopio de segunda mano y ves que te gusta, ¡cómpralo! Un telescopio al que se le ha hecho un buen mantenimiento puede durar décadas.
- ✓ En muchos lugares, los aficionados pueden hacer observaciones con telescopios más grandes que ofrecen los clubes de astronomía, planetarios u observatorios públicos.

La tecnología de los telescopios para aficionados avanza a gran velocidad y, hoy en día, lo que antes era el sueño de cualquier astrónomo, ya es un equipo obsoleto. La calidad y las capacidades aumentan y los precios, en general, son correctos, quizá porque los fabricantes fiables compiten por tu dinero.

En general, un buen refractor ofrece mejores imágenes que un buen reflector que tenga la misma *apertura*, o tamaño de telescopio. La apertura se refiere al diámetro de la lente principal, el espejo o, en un telescopio más complicado, al tamaño de la parte despejada de la óptica. Sin embargo, un buen refractor es más caro que un reflector comparable.



Los Maksutov-Cassegrain y Schmidt-Cassegrain son buenas soluciones porque incluyen el coste bajo de un reflector y el gran rendimiento pero precio elevado de un refractor. Estos tipos de telescopio son los preferidos de muchos astrónomos.

Uno de los mejores telescopios pequeños es el Meade ETX-90. Su apertura es de 3,5 pulgadas, prácticamente el tamaño más pequeño de cualquier telescopio con el que puedas empezar. (Si encuentras un instrumento a un buen precio a partir de una apertura de 2,5 pulgadas, sobre todo en el caso de un refractor, quizá te interese comprarlo.)

El ETX-90 se vende por unos 300 € e incorpora un controlador informatizado

Autostar y un trípode. Este instrumento apunta automáticamente a casi cualquier objeto que especifiques, si dicho objeto se ve desde tu ubicación en ese momento. El Autostar incluso puede encontrar objetos que se mueven, como planetas, basándose en información almacenada, y está equipado para que puedas “dar una vuelta” y obtener las mejores vistas del cielo sin que tú debas indicarle nada.

Precauciones vitales antes de observar el Sol

Por breve que sea, cualquier observación del Sol a través de un telescopio, prismáticos o cualquier otro instrumento óptico es peligrosa a menos que el dispositivo esté equipado con un filtro solar fabricado por un fabricante de confianza específicamente para observar el Sol. El filtro debe estar bien colocado sobre el telescopio, no se puede improvisar sobre la marcha.

Además, utiliza un filtro solar para observar Mercurio cuando cruza el disco del Sol (fenómeno que recibe el nombre de *tránsito*. Describo los tránsitos de Mercurio en el capítulo 6). Ver un objeto contra el Sol requiere usar técnicas de observación con protección, ya que también estás mirando al Sol. Si tienes un reflector newtoniano, un reflector Dobson o un refractor, intenta utilizar la proyección. Consulta el capítulo 10 para obtener información más detallada sobre la observación solar y cómo protegerte los ojos.

Cómo se estropea una buena observación

La turbulencia de la atmósfera afecta a lo bien que puedes ver las estrellas. Hace que parezca que las estrellas parpadeen. El término *seeing* describe las condiciones de la atmósfera relativas a la estabilidad de la imagen. Un *buen seeing* se da cuando el aire es estable y la imagen se mantiene firme. A menudo, se pueden hacer mejores observaciones de noche, cuando se ha disipado el calor del día. Cuando el *seeing* es malo, la imagen tiende a “romperse” y las estrellas dobles son borrosas al mirar por el telescopio. Las estrellas siempre parpadean más cuanto más cerca están del horizonte, donde el *seeing* es peor.

Los planetas brillantes —Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno— no suelen parpadear si los ves a simple vista. No son puntos de luz únicos, como una estrella vista desde la Tierra, sino que parecen discos. Cada disco está formado por muchos puntos individuales de luz. Los puntos separados parpadean pero se contrarrestan entre sí (en cualquier instante, unos

centellean con más brillo y otros de forma más tenue), por eso se ve el planeta con una luz estable.

La diferencia de temperatura entre un telescopio que se saca de una casa con calefacción y el frío nocturno hace que la visión sea peor; tienes que esperar un rato para que el telescopio se enfríe; así, la visión mejorará. Cada caso es distinto, pero suele bastar con treinta minutos para que la observación cambie significativamente.

Un buen competidor del ETX-90 es el telescopio Celestron SkyProdigy 90. Tiene un tamaño y un equipo comparables y cuenta con la capacidad de alinearse automáticamente con el cielo. Cuando se ha alineado, apunta prácticamente a cualquier objeto celeste que selecciones. Cuesta unos 450 €.

Es evidente que no querrás gastarte esa cantidad de dinero en un telescopio hasta haber visto el modelo en acción en un encuentro de observación en algún club de astronomía o en una fiesta de estrellas (consulta el capítulo 2). Sin embargo, el precio no es mayor que lo que se paga por una buena cámara fotográfica y un par de objetivos extras. Puedes encontrar telescopios más grandes y más baratos: echa un vistazo a los anuncios que encontrarás en los números recientes de las revistas de astronomía, aunque ten en cuenta que tendrás que invertir mucho esfuerzo en aprender a utilizarlos bien.

Algunos telescopios de marca se venden a través de comerciales autorizados que suelen ser expertos, pero no te tomes sus consejos al pie de la letra.

Aquí tienes algunas webs clave que puedes visitar para obtener información sobre los productos:

- ✓ Celestron, durante años, el fabricante preferido de miles de astrónomos (www.celestron.com).
- ✓ Meade Instruments Corporation (www.meade.com).
- ✓ Orion Telescopes & Binoculars (www.telescope.com).



En cada web puedes encontrar los manuales de instrucciones de muchos de los telescopios que venden. Quizá te interese echar un vistazo al

manual antes de comprar un telescopio para comprobar si te resultará útil cuando tengas problemas.

Si no vives en Estados Unidos, seguramente podrás encontrar en tu país establecimientos que vendan estas marcas de telescopio. The Widescreen Centre, Londres (Inglaterra) tiene telescopios Celestron, Meade y Orion (www.widescreencentre.co.uk). En Australia, The Binocular and Telescope Shop, con tiendas en Sidney y Melbourne, es uno de los establecimientos en los que tienen estos telescopios (www.bintel.com.au). En España se pueden encontrar en la mayoría de las tiendas especializadas.

Planifica tus primeros pasos en el campo de la astronomía



Te recomiendo que te introduces en la afición de la astronomía poco a poco, invirtiendo el mínimo dinero posible hasta saber lo que quieres hacer. Aquí tienes un plan para adquirir las habilidades básicas y el equipo necesario:

1. Si tienes un ordenador último modelo, invierte en un programa planetario gratuito o económico. Mejor aún, si tienes un *smartphone*, descarga y utiliza una aplicación de planetario gratuita o económica (mira las recomendaciones de aplicaciones y programas en el capítulo 2). Empieza a hacer observaciones a simple vista al anochecer en noches claras y antes de que amanezca, si te levantas temprano.

Para planificar tus observaciones de planetas y constelaciones, también puedes confiar en las representaciones semanales del cielo de la página web de *Sky & Telescope* (www.skyandtelescope.com). Si no tienes un ordenador adecuado, planifica tus observaciones en función de los puntos destacados mensuales de las revistas *Astronomy* o *Sky & Telescope*.

2. Tras un mes o dos familiarizándote con el cielo y descubriendo lo mucho que disfrutas, invierte en unos buenos prismáticos de 7×50 .
3. A medida que sigas observando las estrellas brillantes y constelaciones, invierte en un atlas estelar que muestre muchas de las estrellas más tenues, y que incluya nebulosas y cúmulos de estrellas.

Sky & Telescope's Pocket Star Atlas, de Roger W. Sinnott (*Sky &*

Telescope Media, 2006) es una buena elección. Compara las figuras de tu atlas de estrellas con las constelaciones que estás observando; el atlas muestra su ascensión recta y su declinación (consulta el capítulo 1 para obtener información sobre estos dos conceptos). Al final, empezarás a familiarizarte con el sistema de coordenadas.

4. **Apúntate a un club de astronomía de tu zona, si es posible, y así conocerás a gente con más experiencia en telescopios. (Consulta el capítulo 2 para obtener más información sobre dónde encontrar clubes.)**
5. **Si todo va bien y quieres seguir navegando en el mundo de la astronomía (y supongo que sí) invierte en un telescopio de calidad de entre 7,5 y 10 centímetros de tamaño.**

Estudia las webs de los fabricantes de telescopios que he mencionado anteriormente en este capítulo o pide que te envíen los catálogos que se anuncian en revistas de astronomía. Mejor aún, si puedes, habla con los miembros experimentados de un club de astronomía. Podrán aconsejarte sobre la compra de un telescopio nuevo y quizá conozcan a alguien que quiera vender uno de segunda mano.

Si disfrutas de la astronomía tanto como yo, te recomiendo que dentro de unos años pases a un telescopio de 15 o 20 centímetros. Puede que sea más difícil de usar, pero con un poco de experiencia estarás listo para dominarlo. Al estar equipado con un telescopio más grande, puedes ver muchas más estrellas y otros objetos. Si hablas con otros aficionados a la astronomía y asistes a fiestas de estrellas, podrán recomendarte telescopios grandes y, además, es un buen lugar para familiarizarte con muchos telescopios y verlos en funcionamiento. (Comento las fiestas de estrellas en el capítulo 2.)

Capítulo 4

Visitas breves: meteoros, cometas y satélites artificiales

En este capítulo

- ▶ Datos básicos sobre meteoros, meteoroides y meteoritos
 - ▶ Sigue cabezas o colas de cometas
 - ▶ Cómo detectar satélites artificiales
-

¿Es de día y acabas de ver algo que se mueve en el cielo? Probablemente sepas si es un pájaro, un avión, ¡o Superman! En cambio, en el cielo nocturno, ¿sabes distinguir un meteoro de un destello de luz procedente de un satélite Iridium? Y entre los objetos que se mueven despacio pero de forma perceptible a través del fondo estrellado, ¿puedes diferenciar un cometa de un asteroide?

En este capítulo, se definen y explican muchos de los objetos que surcan el cielo nocturno. (El Sol, la Luna y los planetas también se mueven a través del cielo, pero en una procesión más imponente. Les dedico varios apartados en las partes II y III del libro). Cuando sepas identificar a estos visitantes nocturnos, disfrutarás de tus observaciones.

Meteoros: si ves una estrella fugaz, pide un deseo

Ningún término de astronomía se emplea peor que la palabra *meteoro*. Los aficionados a la astronomía e incluso los científicos utilizan la palabra *meteoro* cuando el término adecuado es *meteoroides* o *meteoritos*. Éstos son los significados correctos:

- ✓ *Meteoro* es el destello de luz producido cuando un objeto sólido y pequeño no artificial (un meteorode) entra en la atmósfera de la Tierra desde el espacio; la gente suele llamar “estrellas fugaces” a los meteoros.
- ✓ *Meteorode* es un objeto sólido y pequeño en el espacio, normalmente un fragmento de asteroide o cometa que orbita alrededor del Sol. Algunos meteoroides raros son rocas que se han despegado de Marte y de la Luna de la Tierra.
- ✓ Un *meteorito* es un objeto sólido del espacio que ha caído en la superficie de la Tierra. Todos los días caen a la Tierra alrededor de 100 toneladas de material meteorítico (algunas estimaciones son incluso más altas).

Si un meteorode atraviesa la atmósfera de la Tierra puede producir un meteoro lo bastante brillante como para ser visible. Si el meteorode es lo suficientemente grande para chocar contra el suelo en lugar de desintegrarse en el aire, se convierte en un meteorito. Muchas personas van a la caza de meteoritos y los coleccionan por el valor que tienen para los científicos y coleccionistas.

Los dos tipos principales de meteoroides tienen distintos orígenes:

- ✓ *Meteoroides cometarios* son partículas esponjosas de polvo que desprenden los cometas.
- ✓ *Meteoroides asteroidales*, cuyo tamaño va desde partículas microscópicas hasta fragmentos de roca grandes y, literalmente, fragmentos de asteroides (los llamados planetas menores), son cuerpos rocosos que orbitan alrededor del Sol (y que describo en el capítulo 7).

Cuando vas a un museo de ciencia y ves un meteorito, estás examinando un meteorode asteroidal que cayó a la Tierra (o, en casos excepcionales, una roca que cayó tras desprenderse de la Luna o de Marte debido al impacto de un cuerpo más grande). Puede estar formado por material rocoso, hierro (de hecho, una mezcla prácticamente anticorrosiva de níquel y hierro) o ambos. Mostrando una simpleza extraordinaria (por una vez), los científicos denominan a estos meteoritos, respectivamente, meteoritos *pedregosos*, *metálicos* y *rocosos-metálicos*.

En los siguientes apartados, comento tres tipos de meteoros: meteoros esporádicos, bolas de fuego y bólidos. También te doy información detallada sobre las lluvias de meteoros.

Péinate para quitarte el polvo espacial

Si un astrónomo encuentra un *micrometeorito* (un meteorito tan pequeño que debes verlo a través de un microscopio), puede que sea una partícula que empezó como meteoroides cometario, o quizá un meteoroides asteroidal muy pequeño.

Los micrometeoritos son tan pequeños que no crean fricción suficiente como para quemarse o desintegrarse en la atmósfera, por eso se filtran lentamente hasta llegar al suelo. Es probable que tengas una o dos motas de este polvo espacial en el pelo en este instante, pero el polvo es prácticamente imposible de identificar porque se pierde entre los millones de partículas microscópicas de tu cabeza (sin ánimo de ofender).

Los científicos obtienen micrometeoritos enviando placas de recolección ultralimpias en aviones reactores que vuelan a gran altitud. Y también arrastran rastrillos imantados que recogen micrometeoritos de hierro a través del barro del fondo marino.

El 2 de enero de 2004, la sonda espacial *Stardust* de la NASA pasó cerca del cometa Wild-2 (un cometa que pasa por la órbita de Marte aproximadamente una vez cada seis años y es bastante fácil de alcanzar con una sonda) y recogió cierta cantidad de polvo de cometa. La sonda acabó su “viaje salvaje” expulsando una cápsula que contenía el polvo que había recogido. Cayó en paracaídas en Utah el 15 de enero de 2006. Un equipo de doscientos científicos analizó las minúsculas partículas. Descubrieron que algunas partículas de polvo procedían de otras estrellas, pero que la mayoría se formaban cerca del Sol, algunas incluso tan cerca que “hacía tanto calor que hubieran evaporado los ladrillos”, en palabras del científico de *Stardust* Donald Brownlee. La sonda, rebautizada como *Stardust-NeXT*, siguió volando para fotografiar el cometa Tempel 1 el 14 de febrero de 2011. Puedes ver muchas de las fotografías que se tomaron en la web http://stardustnext.jpl.nasa.gov/multimedia/tempell_images.html.



Si quieres obtener información fiable sobre cómo observar y registrar meteoros y cómo informar de alguno, visita el apartado “Meteor” de la web de la Asociación Astronómica Británica, www.britastro.org/meteor. La NAMN (Red de Meteoros de Norteamérica) también es un buen recurso. Proporciona una guía para principiantes sobre cómo observar meteoros, unos formularios para presentar tus recuentos de meteoros y otros especiales para informar sobre bolas de fuego. Visita su sitio web www.nammeteors.org. Mientras navegas por internet, visita la página de la IMO (Organización Internacional de Meteoros), www.imo.net, para ver qué ofrecen.

Cómo ver meteoros, bolas de fuego y bólidos esporádicos

Cuando estás al aire libre en una noche oscura y ves una “estrella fugaz” (el destello de luz de un meteoróide que cae al azar), probablemente estés viendo un meteoró *esporádico*. En cambio, si hay muchos meteoros y parece que todos lleguen del mismo sitio entre las estrellas, estás presenciando una *lluvia de meteoros*. Las lluvias de meteoros son de las visiones más agradables del cielo y les dedico el siguiente apartado de este capítulo.

Un meteoró que brilla de una forma deslumbrante es una *bola de fuego*. A pesar de que una bola de fuego no tenga una definición oficial, muchos astrónomos consideran que un meteoró que parece más brillante que Venus es una bola de fuego. Sin embargo, Venus puede que no sea visible en el momento en el que ves el meteoró. Entonces, ¿cómo puedes saber si estás viendo una bola de fuego?



Ésta es la regla que sigo para identificar bolas de fuego: si la gente que ve el meteoró de frente exclama “Oh” y “Ah” (todo el mundo tiende a gritar cuando ve un meteoró brillante), el meteoró quizá sea solamente brillante. En cambio, si la gente que está mirando hacia otro lado ve un brillo momentáneo en el cielo o en el suelo que les rodea, entonces, es una bola de fuego. Para parafrasear una antigua canción de Dean Martin: “Si el meteoró te da en el ojo como una gran *pizza*, ¡es una bola de fuego!”

Las bolas de fuego no son un fenómeno extraño. Si observas el cielo regularmente en noches oscuras durante varias horas, quizá veas una bola de fuego unas dos veces al año. Lo poco habitual es ver *bolas de fuego diurnas*. Si el Sol luce en el cielo y ves una bola de fuego, has tenido suerte, significa que has visto una bola de fuego tremendamente brillante. Cuando los no científicos ven bolas de fuego diurnas, casi siempre las confunden con aviones o misiles ardiendo y que están a punto de estrellarse.



Cualquier bola de fuego muy brillante (que se acerca al brillo de la media luna o más brillante todavía) o cualquier bola de fuego diurna implica la posibilidad de que el meteorode que produce esa luz llegue al suelo. Los meteoritos que acaban de caer suelen tener un valor científico considerable, incluso bastante valor económico. Si ves una bola de fuego que encaja con esta descripción, anota la siguiente información para que tus datos puedan ayudar a los científicos a encontrar el meteorito y determinar de dónde venía:

1. Apunta la hora, según tu reloj.

En cuanto puedas, comprueba si tu reloj se atrasa o se adelanta comparándolo con una fuente que indique la hora exacta, como el reloj del Observatorio Naval de Estados Unidos, que puedes consultar en <http://tycho.usno.navy.mil/what.html>.

2. Registra dónde estás exactamente.

Si tienes un GPS a mano, comprueba tu situación. Si no, haz un dibujo para mostrar en qué punto te encontrabas cuando viste la bola de fuego: anota carreteras, edificios, árboles grandes o cualquier otro punto de referencia.

3. Haz un dibujo del cielo en el que se vea el rastro de la bola de fuego respecto al horizonte tal y como lo viste tú.

Incluso aunque no estés seguro de si mirabas al sureste o al nortenoeste, el dibujo de tu ubicación y del rastro de la bola de fuego ayuda a los científicos a determinar la trayectoria de la bola de fuego y dónde puede que haya aterrizado el meteorode.

Tras la aparición de una bola de fuego diurna o nocturna muy brillante, los científicos buscan testigos oculares. Recogen la información y, comparando los datos de quienes vieron la bola de fuego desde distintos puntos, pueden acotar la zona en la que es más probable que cayera. Una bola de fuego brillante puede que sólo sea del tamaño de una piedra pequeña, es decir, que cabría en la palma de tu mano, así que los científicos deben acotar la zona de búsqueda para tener

una probabilidad razonable de encontrarla. Si después de observar una bola de fuego, no encuentras ningún anuncio en el que se pida información, es probable que el planetario o el museo de historia natural más cercano acepten tu informe y sepan dónde enviarlo.

Un *bólide* es una bola de fuego que explota o produce un fuerte ruido incluso aunque no se haga pedazos. Como mínimo, así lo defino yo. Hay personas que utilizan *bólide* como sinónimo de *bola de fuego* (no encontrarás un acuerdo oficial sobre este término; hay distintas definiciones incluso en las fuentes más acreditadas). El ruido que oyes es el estampido sónico del meteoróide, que cae a través del aire superando la velocidad del sonido.

Cuando la bola de fuego se hace añicos, ves dos o más meteoros brillantes al mismo tiempo, muy cerca el uno del otro y que van en la misma dirección. El meteoróide que produce la bola de fuego probablemente se ha fragmentado por fuerzas aerodinámicas, igual que un avión que cae desde una altitud elevada a veces se hace pedazos aunque no haya explotado.

A menudo, un meteoróide brillante deja atrás un rastro luminoso. El meteoróide dura unos segundos o menos, pero el rastro que resplandece (la llamada *estela del meteoróide*) puede persistir durante muchos segundos, incluso minutos. Si dura lo suficiente, se distorsiona por los vientos de la alta atmósfera, igual que el viento deforma poco a poco el mensaje publicitario que lanza un avión por encima de una playa o un estadio.



Verás más meteoros después de las 12 de la noche que antes, porque a partir de medianoche y hasta el mediodía estás en el lado de delante de la Tierra, donde nuestro planeta se zambulle en el espacio y barre los meteoroides. Desde las 12 del mediodía hasta la medianoche, estás en el lado posterior, y los meteoroides tienen que alcanzarnos para entrar en la atmósfera y hacerse visibles. Los meteoros son como bichos que manchan tu parabrisas: cuando vas por la autopista tienes muchos más en el parabrisas delantero que en el trasero porque el de delante va en dirección a los bichos y el de detrás, se aleja de ellos.

Una visión radiante: las lluvias de meteoros

En general, sólo se puede ver un número reducido de meteoros por hora, más después de la medianoche que antes y más en otoño que en primavera (para los observadores del hemisferio norte). En algunos momentos concretos del año se pueden ver diez, veinte o incluso más de cincuenta meteoros por hora en un cielo

oscuro, sin Luna, lejos de las luces de la ciudad. Este tipo de fenómeno se conoce como *lluvia de meteoros*, cuando la Tierra atraviesa un gran anillo de miles de millones de meteoroides que se extienden a lo largo de toda la órbita del cometa que los ha arrojado. (Comento los cometas en detalle más adelante en este capítulo.) La figura 4-1 ilustra el fenómeno de una lluvia de meteoros.

La dirección en el espacio o el lugar en el cielo de donde parece proceder una lluvia de meteoros recibe el nombre de *radiante*. La lluvia de meteoros más famosa es la de las Perseidas, que, en su punto máximo, produce hasta ochenta meteoros por hora. (Las Perseidas reciben ese nombre porque parecen salir disparadas a través del cielo desde la constelación Perseo, el Héroe, su radiante. En general, las lluvias de meteoros se llaman así en honor a constelaciones o estrellas brillantes cerca de sus radiantes (como Eta Aquarii). Las Perseidas reciben también el nombre de Lágrimas de San Lorenzo, ya que su máximo de actividad es próximo al 10 de agosto, festividad de este santo.

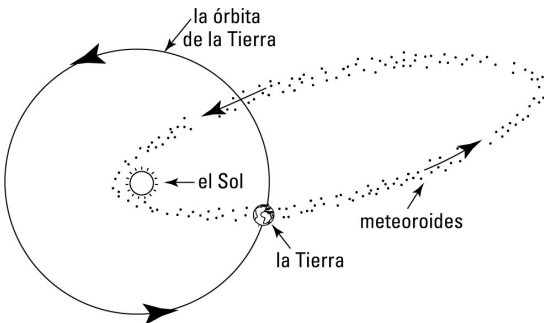


Figura 4-1:

Cuando el camino de la Tierra cruza un cinturón de meteoroides crea una lluvia de meteoros

Hay otras lluvias de meteoros que producen tantos destellos de luz como las Perseidas, pero pocas personas se dedican a observarlas. Las Perseidas aparecen en noches agradables de agosto, momentos que invitan más a la observación del cielo. En cambio, otras lluvias de meteoros importantes como las Gemínidas y las Cuadrántidas, surcan el cielo en diciembre y enero, respectivamente, cuando el tiempo empeora en el hemisferio norte y las ambiciones de los observadores son limitadas.

En la tabla 4-1 te presento una lista de las principales lluvias de meteoros anuales. Las fechas de la tabla corresponden a las noches en las que estas lluvias suelen alcanzar su punto máximo. Algunas duran varios días, otras semanas, aunque no todos los días son de máxima actividad. En cambio, las Cuadrántidas pueden durar una noche o unas horas.

Tabla 4-1. Principales lluvias de meteoros anuales

<i>Nombre de la lluvia</i>	<i>Fecha aproximada</i>	<i>Meteoros por hora</i>
Cuadrántidas	3-4 de enero	90
Líridas	21 de abril	15
Eta Aquarids	4-5 de mayo	30
Delta Aquarids	28-29 de julio	25
Perseidas	12 de agosto	80
Oriónidas	21 de octubre	20
Geminidas	13 de diciembre	100

El radiante de las Cuadrántidas está en la esquina noreste de la constelación Bootes (Pastor de bueyes). Los meteoros se llaman así en honor a una constelación que aparecía en los mapas estelares del siglo XIX y que los astrónomos ya no reconocen de forma oficial. Además de perder su constelación homónima, las Cuadrántidas parecen haber perdido el cometa que las generó. Su origen fue un misterio hasta el año 2003, cuando el astrónomo Petrus Jenniskens descubrió que un objeto denominado 2003 EH₁ podría ser su cometa de origen.

Las Geminidas son una lluvia de meteoros que parece estar asociada con la órbita de un asteroide, no con un cometa. De todas formas, el “asteroide” probablemente sea un cometa muerto, que ya no arroja bocanadas de gas y polvo para formar una cabeza y una cola. El objeto 2003 EH₁, el origen probable de las Cuadrántidas, puede que también sea un cometa muerto (hablaré de los cometas en el siguiente apartado).

Las Leónidas son una lluvia de meteoros poco común que aparece cada año hacia el 17 de noviembre, y normalmente no es muy destacable. En cambio, cada treinta y tres años, hay muchos más meteoros de lo habitual, quizá durante varios noviembreros sucesivos. En noviembre de 1966 en algunos puntos de la Tierra se vio un número enorme de Leónidas, y de nuevo en noviembre de 1999, 2000, 2001 y 2002, como mínimo, durante breves períodos. Se espera que el próximo gran espectáculo llegue en el año 2032.

Prácticamente nunca verás el número de meteoros por hora que he anotado en la tabla 4-1. Los índices oficiales de meteoros se definen para condiciones de

observación excepcionales, algo de lo que pocas personas pueden gozar. Sin embargo, las lluvias de meteoros varían de año en año, igual que las precipitaciones. A veces, la gente ve ochenta Perseidas, en contadas ocasiones, ven más de las esperadas. Estas variaciones son el motivo por el cual el registro preciso de tus recuentos de meteoros pueden ser útiles para los registros científicos.

¿Vives al sur del Ecuador? Comprueba la lista de lluvias de meteoros visibles desde el hemisferio sur en la web de la Real Sociedad Astronómica de Nueva Zelanda (RASNZ), www.rasnz.org.nz/Meteors/Meteors.htm.

Para hacer un seguimiento de los meteoros necesitas un reloj, un cuaderno, un bolígrafo o lápiz para anotar tus observaciones y una linterna de luz tenue para ver lo que escribes.



La mejor luz para las observaciones astronómicas es una linterna roja. Puedes comprarla, pero también te la puedes hacer con una linterna normal envolviendo la lámpara con papel de celofán rojo. Algunos astrónomos pintan la lámpara con una fina capa de esmalte de uñas rojo. Si utilizas luz blanca, te deslumbrará y no te permitirá ver las estrellas y los meteoros más tenues durante entre diez y treinta minutos, en función de las circunstancias. La *adaptación a la oscuridad* es el proceso por el cual dejas que tu visión se ajuste a la oscuridad y es un paso que querrás dar cada vez que observes el cielo nocturno.

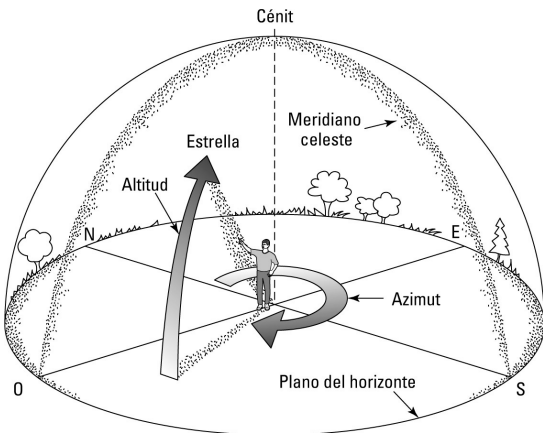


La mejor forma de observar y contar meteoros es tumbarte en una hamaca (también puedes estirarte con una sábana y una almohada, pero entonces es más probable que te duermas y te pierdas la mejor parte del espectáculo). Inclina la cabeza para mirar ligeramente por encima del punto a mitad de camino entre el horizonte y el cenit (consulta la figura 4-2); ésa es la dirección óptima para contar meteoros. Toma notas a mano o utiliza la aplicación Meteor Counter de la NASA (que describo más adelante). ¡Y recuerda llevarte termos de café, té o cacao caliente!

No es necesario que estés frente al radiante cuando observes la lluvia de meteoros, a pesar de que mucha gente lo haga. Los meteoros pasan por todo el cielo y sus caminos visibles pueden empezar y acabar lejos del radiante. Si extrapolas visualmente las trayectorias de los meteoros hacia la dirección desde la que parecen venir, verás que dichas trayectorias apuntan al radiante. Si identificas un radiante así, podrás diferenciar un meteorito que forma parte de una

lluvia, de otro que sea esporádico.

En cambio, si estás frente al radiante, verás algunos meteoros que parecen tener caminos muy cortos, aunque parezcan bastante brillantes. Las trayectorias parecen cortas porque los meteoros llegan casi hasta ti. Por suerte, los meteoroides de las lluvias son microscópicos y no llegarán al suelo.



Posiciones en el cielo

Figura 4-2:

Levanta la cabeza hasta medio camino entre el horizonte y el cenit para obtener una óptima observación de meteoros

Cómo informar de meteoros a la NASA

Puedes ayudar a la NASA informando sobre los meteoros que veas. Basta con que descargues la aplicación Meteor Counter de la NASA para tu *smartphone* o *tablet* y ya está. En www.meteorcounter.com puedes acceder a la descarga gratuita, junto con sus sencillas instrucciones. La aplicación Meteor Counter muestra una serie de rectángulos verticales que se

parecen a las teclas blancas de un piano. Cada “tecla” representa distintas magnitudes (el brillo). Pulsa la tecla que más se parezca a la magnitud del meteorito que ves. Incluso puedes activar un grabador de voz de la aplicación para guardar comentarios como “Ese meteorito se ha roto en dos partes” o “Parece verde”. Cada cierto tiempo, tu teléfono o *tablet* envía tus observaciones a la NASA, igual que una sonda espacial transmite datos a la Tierra de vez en cuando.

Si necesitas ayuda para valorar las magnitudes, consulta estas fuentes:

✓ **Sección de meteoros de la BAA (Asociación Astronómica Británica):** Ofrece una pequeña tabla de objetos celestes que puedes comparar con un meteorito para valorar su magnitud. Visita www.britastro.org/meteor y haz clic en el enlace *Observing Notes*; la tabla está hacia el final del artículo.

✓ **NAMN (Red de Meteoros de Norteamérica):** Ofrece cartas celestes gratuitas que puedes descargar en www.namnmeters.org/charts.html. Utilízalas para comparar estrellas de varias magnitudes con los meteoritos que observes. Te agradecerán que en tus notas de observación incluyas una estimación de la oscuridad del cielo. Simplemente, estima el brillo de las estrellas más tenues que puedas ver mientras observes. Cuanto más oscuro sea el cielo, más estrellas tenues serán visibles y más meteoritos verás.

Cómo fotografiar meteoros y lluvias de meteoros

Puedes hacer fotos de meteoros con cámaras digitales o analógicas, pero fotografiarlos te obliga a tener una cámara bastante cara (las de tipo “apunta y dispara” no funcionan, salvo si da la casualidad de que puedes captar una bola de fuego brillante) y mucha experiencia de prueba y error hasta que domines la técnica. Independientemente del método que elijas, pon en práctica estas reglas:

- ✓ Observa desde el punto más oscuro posible, lejos de la iluminación de la ciudad.
- ✓ Intenta hacer fotos de meteoros cuando la Luna esté bajo el horizonte.
- ✓ Utiliza un trípode para que la cámara no tiemble durante la exposición.
- ✓ Utiliza un objetivo normal o un gran angular (los segundos son preferibles, ya que captarás más meteoros en una única foto) y fíjalo en infinito. No

utilices teleobjetivo.

✓ Utiliza un disparador con cable para controlar el obturador de la cámara sin moverla.

✓ Apunta la cámara más o menos a medio camino entre el horizonte y el cenit, o un poco más arriba, hacia cualquier dirección del cielo con el menor resplandor posible de luces artificiales.

Cuando hagas fotografías de meteoros con una cámara analógica, sigue estos consejos:

✓ Utiliza película de color o blanco y negro con una sensibilidad ISO 400.

✓ Utiliza un objetivo que tenga una apertura de $f/5,6$ o menos y fíjalo en la f más baja.

✓ Ajusta la cámara en el modo tiempo de exposición, preferiblemente utilizando la opción *bulb* si tu obturador tiene esa función. *Tiempo de exposición* significa que pulsas el cable del disparador una vez para iniciar la exposición y vuelves a pulsarlo para que acabe.

✓ Haz una exposición de entre diez y quince minutos, después otra, y repite el proceso durante una hora o dos. Cuando reveles la película, quizá veas que has captado una o más imágenes de meteoros. Excepción: si una bola de fuego pasa a través de la zona del cielo que está viendo la cámara, finaliza la exposición inmediatamente y anota el tiempo. Puede que tengas una importante imagen del rastro de una bola de fuego, y no necesitas alargar la exposición, pues la bola de fuego ya se habrá ido.

✓ Cuando lles el carrete a revelar, pide al profesional que “revele todos los negativos”. Los laboratorios de revelado no suelen revelar negativos astronómicos porque algunas tomas parecen exposiciones malas para alguien que no sea astrónomo.

Cuando hagas fotografías de meteoros con una cámara digital, recuerda estos consejos:

✓ Utiliza una cámara réflex de lente única (DSLR) que te permita regular el tiempo de exposición.

✓ Dedicar un rato a realizar exposiciones de prueba para determinar qué parámetros deberás utilizar esa noche en concreto (los parámetros varían en función de lo brillante que esté el cielo). Haz varias exposiciones de diez, veinte y treinta segundos para determinar cuánto tiempo puedes dejar que dure una exposición sin sobreexponer la fotografía a la luz del cielo (cuanto más dure, mejor). Quizá debas repetir esta serie de exposiciones de tiempo para cada uno de los dos o tres parámetros ISO. (Con un parámetro ISO

mayor, puedes registrar meteoros más tenues, lo que implica más meteoros, pero con los parámetros ISO mayores, el cielo se sobreexpone antes, así que no puedes hacer exposiciones muy largas). Con la experiencia, aprenderás a encontrar el ISO y tiempo de exposición que funcionan mejor con tus objetivos en el lugar donde estés observando.

Puedes fotografiar meteoros esporádicos siguiendo las instrucciones anteriores, pero en una noche cualquiera no podrás captar muchos meteoros esporádicos. En cambio, cuando se produce una lluvia de meteoros, tienes la oportunidad de fotografiar más meteoros, siempre y cuando la Luna no esté en el cielo. Con la luz de la Luna, captarás menos meteoros, incluso ninguno. Cuando hagas fotos a una lluvia de meteoros, tanto con una cámara analógica como con una digital, haz la foto cuando el radiante de la lluvia (la constelación desde la que parece proceder la lluvia de meteoros) esté muy por encima del horizonte, preferiblemente a más de 40° . El horizonte está a 0° de altitud, y el cenit (el punto más alto del cielo) a 90° , por lo tanto, el punto a medio camino entre ambos está a 45° ; dos terceras partes del camino están a 60° , y así sucesivamente.

Cometas: toda la verdad sobre las bolas de hielo sucio

Los *cometas* son enormes masas amorfas de hielo y polvo que se desplazan lentamente a través del cielo y que parecen bolas borrosas que arrastran velos gaseosos. Son visitantes populares de las profundidades del Sistema Solar. Siempre despiertan interés. Cada setenta y cinco o setenta y siete años, la bola de hielo más famosa, el cometa Halley, vuelve a nuestra zona del universo. Si te perdiste su aparición en 1986, ¡vuélvelo a intentar en el año 2061! Hasta que llegue el Halley, puedes ver otros cometas interesantes. A menudo, un cometa menos famoso, como el Hale-Bopp, que pasó en 1997, es mucho más brillante que el Halley.



Muchas personas confunden los meteoros y los cometas, pero es fácil distinguirlos si se tienen en cuenta estos criterios:

- ✓ Un meteorito dura segundos; en cambio, un cometa es visible durante

días, semanas o incluso meses.

- ✓ Los meteoros surcan el cielo cuando caen desde lo alto, a unos 160 kilómetros del observador. Los cometas se arrastran a través del cielo a distancias de muchos millones de kilómetros.
- ✓ Los meteoros son habituales, mientras que los cometas que se pueden ver a simple vista aparecen, de media, menos de una vez al año.

Los astrónomos creen que los cometas nacieron en la zona próxima a los planetas exteriores, empezando cerca de la órbita de Júpiter y extendiéndose más allá de Neptuno. Los cometas cerca de Júpiter y Saturno se veían cada vez más afectados por la gravedad de esos potentes planetas y fueron arrojados lejos en el espacio, donde llenaron una zona enorme y esférica mucho más allá de Plutón (la Nube de Oort), que se extiende a unas 10.000 ua del Sol. (En el capítulo 1 defino ua, o unidad astronómica, como la distancia equivalente a unos 150 millones de kilómetros.) Otros cometas salieron despedidos, y aun otros se formaron y continúan en el Cinturón de Kuiper (consulta el capítulo 9), una zona que empieza alrededor de la órbita de Neptuno y continúa hasta una distancia de unas 50 ua del Sol, o unas 10 ua más allá de Plutón. Las estrellas que pasan de vez en cuando perturban estas zonas y envían cometas hacia nuevas órbitas que les pueden acercar a la Tierra y al Sol, donde podemos verlos.

En los siguientes apartados comento la estructura de un cometa, cometas famosos a través de la historia y los métodos que puedes utilizar para ver cometas.

La estructura de un cometa

Un cometa es un conglomerado compuesto por hielo, gases helados (como los hielos de monóxido y dióxido de carbono) y partículas sólidas (el polvo o “suciedad” que muestra la figura 4-3). A lo largo de la historia, los astrónomos han afirmado que los cometas tienen cabeza, y cola o colas, pero, con investigaciones adicionales, han podido esclarecer la naturaleza de la estructura de un cometa.

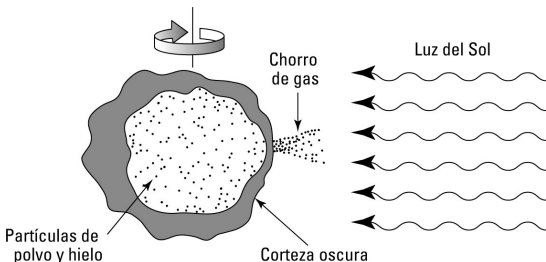


Figura 4-3:

En realidad, un cometa no es más que una bola de hielo sucia

El núcleo

Al principio, los astrónomos llamaron *núcleo* al punto de luz brillante de la cabeza de un cometa. Hoy en día sabemos que el núcleo es el verdadero cometa, es decir, la denominada “bola de hielo sucia”. Las demás características de un cometa sólo son emanaciones que proceden del núcleo.

Un cometa que está lejos del Sol es solamente el núcleo, no tiene cabeza ni cola. La bola de hielo puede ser de docenas de kilómetros de diámetro o de 1 kilómetro o 2. Ese tamaño es bastante pequeño según los criterios astronómicos, y, como el núcleo sólo brilla por la luz reflejada por el Sol, un cometa distante es tenue y difícil de encontrar.

Las imágenes del núcleo del cometa Halley desde una sonda de la Agencia Espacial Europea que pasó muy cerca de éste en 1986 muestran que la rodante bola de hielo con grumos tiene una corteza oscura, como ese postre de los restaurantes elegantes llamado tartufo que consta de bolas de helado de vainilla con capas de chocolate. Los cometas no son tan sabrosos como el tartufo (al menos eso creo), pero son un festín para los ojos. Por todo el núcleo del cometa Halley, la sonda fotografió columnas de gas y polvo procedentes de conductos parecidos a los de un géiser o agujeros pulverizados en el espacio en los que el Sol apenas ha calentado la superficie. ¡Menuda corteza! En 2004, la sonda *Stardust* de la NASA consiguió primeros planos del núcleo del cometa Wild-2. Este núcleo parece tener cráteres de impacto y está marcado con lo que podrían ser pináculos de hielo. Ésa es la cruda realidad.

La cabeza

A medida que un cometa se acerca al Sol, el calor solar vaporiza cada vez más gas helado y lo impulsa hacia el espacio, barriendo también algo de polvo. El gas y el polvo forman una nube brumosa y brillante alrededor del núcleo llamada *cabeza* (término latín que significa ‘cabellera’). Prácticamente todo el mundo confunde la coma con la cabeza del cometa, pero si se habla con conocimiento de causa, la cabeza está formada por la coma y por el núcleo.

El brillo de la coma de un cometa es, en parte, la luz del Sol reflejada por millones de minúsculas partículas de polvo y, en parte, emisiones de luz tenue de átomos y moléculas de la coma.

Historia de dos colas

El polvo y el gas de la cabeza de un cometa están sujetos a fuerzas inquietantes que pueden producir la cola o las colas de un cometa: la cola de polvo y la cola de plasma.

La presión de la luz solar empuja las partículas de polvo en dirección opuesta al Sol (consulta la figura 4-4), lo que produce la *cola de polvo* del cometa. Esta cola de polvo brilla por la luz reflejada del Sol y tiene las siguientes características:

- ✓ Apariencia suave, a veces ligeramente curva.
- ✓ Color amarillo claro.

El otro tipo de cola de cometa es la *cola de plasma* (también recibe el nombre de *cola iónica* o *cola de gas*). Parte del gas de la coma se *ioniza*, o carga eléctricamente, cuando es golpeada por la luz ultravioleta del Sol. En ese estado, los gases están sujetos a la presión del *viento solar*, un flujo invisible de electrones y protones que va hacia el espacio desde el Sol (consulta el capítulo 10). El viento solar empuja el gas cometario electrificado en una dirección más o menos opuesta a la dirección del Sol, y así se forma la cola de plasma del cometa. La cola de plasma es como una manga de viento: a los astrónomos que ven el cometa desde la distancia les muestra en qué dirección sopla el viento solar en el punto del espacio donde se encuentra el cometa.

A diferencia de lo que ocurre con la cola de polvo, la cola de plasma de un cometa tiene:

- ✓ Una apariencia fibrosa, a veces retorcida o incluso rota.

✓ Color azul.

En ocasiones, parte de la cola de plasma se separa del cometa y vuela hacia el espacio. Entonces, el cometa forma una nueva cola de plasma, de forma parecida a un lagarto al que le crece una cola nueva cuando pierde la primera. Las colas de un cometa pueden ser de millones hasta de cientos de millones de kilómetros de largo.

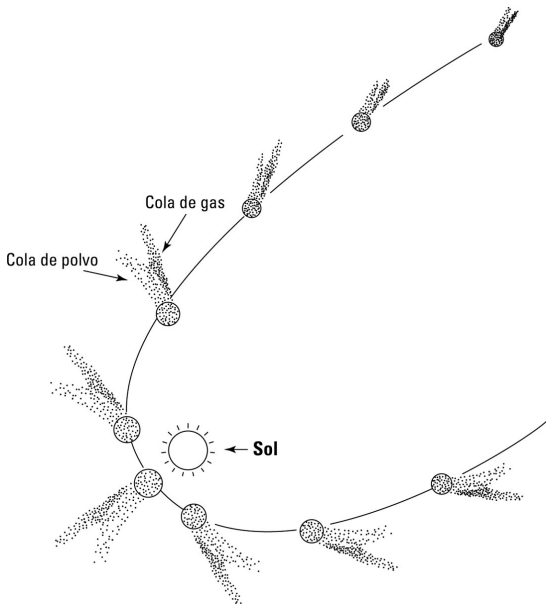


Figura 4-4:

La cola de un cometa apunta en dirección opuesta al Sol

Cuando un cometa se dirige hacia el Sol, su cola o colas van detrás. Cuando el cometa gira en torno al Sol y vuelve a dirigirse hacia el Sistema Solar exterior, la cola continúa en dirección opuesta al Sol, por lo que entonces el cometa sigue a su cola. El cometa se comporta respecto al Sol como los antiguos cortesanos respecto a su emperador: nunca dan la espalda a su señor. El cometa de la figura 4-4 podría estar yendo en el sentido de las agujas del reloj o en el sentido contrario, pero, en cualquier caso, la cola siempre apunta en dirección opuesta al Sol.

La cabeza y las colas de un cometa sólo son señales de una muerte anunciada. El gas y el polvo que arroja el núcleo para formar la coma y las colas, el cometa los pierde para siempre, es decir, desaparecen. Cuando el cometa viaja más allá de la órbita de Júpiter, de donde proceden la mayoría de los cometas, vuelve a estar formado por el núcleo desnudo. Y el núcleo es un poco más pequeño, debido al gas y el polvo que ha perdido. Puede que algún día el polvo del cometa produzca una lluvia de meteoros si cruza la órbita de la Tierra (ya he comentado este punto más arriba).

¿Repasamos el tema de la cabeza?

La primera regla de la observación es ¡sal de la ciudad! Aunque el núcleo de un cometa pueda ser de 5 o 10 kilómetros de diámetro, la coma que se forma a su alrededor puede llegar a ser de decenas de miles de kilómetros o incluso cientos de miles de kilómetros de ancho. Los gases se expanden como una bocanada de humo de un cigarro. Cuando se expanden, se disipan y se hacen menos visibles. Por eso, el tamaño de la coma de un cometa no sólo depende de cuántas cosas arroja el cometa, sino también de la sensibilidad del ojo humano, de la película fotográfica o del sensor de la cámara digital que utilices para observarlo. El tamaño aparente del coma también depende de la oscuridad del cielo en el que se ve. Un cometa brillante parece mucho más pequeño en el centro de la ciudad que en el campo porque, en el campo, el cielo está oscuro.

El Cometa Halley es un buen ejemplo del proceso de consumo. Cuando pasa cerca del Sol, el núcleo de este cometa disminuye como mínimo 1 metro cada setenta y cinco o setenta y siete años. En este momento, el núcleo tiene unos 10 kilómetros de diámetro (10.000 metros), lo que significa que el cometa Halley sobrevivirá unas mil órbitas más, o unos setecientos cincuenta mil años. El polvo arrojado por este famoso cometa provoca dos de las mayores lluvias de

meteoros anuales, la Eta Aquarids y las Oriónidas, que aparecen en la tabla 4-1.

Espera a los “cometas del siglo”

Cada pocos años, un cometa es lo suficientemente brillante y está en tan buena posición en el cielo que lo puedes ver a simple vista o con unos prismáticos pequeños. No te puedo decir cuándo llegará un cometa así porque los únicos cometas que vuelven y cuyas visitas se pueden predecir con precisión son los pequeños, los cuales no son muy brillantes. Prácticamente todos los cometas brillantes y apasionantes se descubren, no se predicen.

El cometa Halley es el único cometa brillante cuyas visitas pueden predecir los astrónomos, pero no viene muy a menudo. Su aparición en 1910 se anunció ampliamente, y todo el mundo lo vio. Sin embargo, ese mismo año pasaron cometas incluso más brillantes, como el Gran Cometa de 1910, y ningún astrónomo predijo su llegada. Sigue mirando hacia arriba. Hojea las revistas de astronomía y visita las páginas web que aparecen al final de este apartado, donde encontrarás información sobre nuevos cometas y podrás seguir las instrucciones para observarlos. Con un poco de suerte, quizá seas la primera persona que ve un cometa nuevo y que informa de su existencia, en cuyo caso, la Unión Astronómica Internacional le pondrá tu nombre.

Cada cinco o diez años llega un cometa tan brillante que los astrónomos aseguran que será “el cometa del siglo”. La gente tiene poca memoria, pero, si no pierdes el interés, quizá puedas ver algún cometa magnífico:

- ✓ En 1965, el cometa Ikeya-Seki fue visible a plena luz del día, cerca del Sol. Par verlo debías mantener el dedo pulgar en alto para bloquear el brillante disco solar. Nunca olvidaré aquella visión, ni mi pulgar quemado por el Sol.
- ✓ En 1976, el cometa West fue visible a simple vista incluso en el cielo nocturno del centro de la ciudad de Los Ángeles, uno de los peores sitios que conozco para ver objetos celestes.
- ✓ En 1983, el cometa IRAS-Iraki-Alcock se pudo ver a simple vista mientras cruzaba el cielo nocturno (la mayoría de los cometas se mueven tan despacio a través de las constelaciones que puede que tengas que esperar una hora o más para notar un cambio de posición).
- ✓ En la década de 1990, los cometas brillantes Hyakutake y Hale-Bopp aparecieron de repente y los vieron millones de personas de todo el mundo.

- ✓ En 2007, el cometa McNaught se convirtió en el cometa más brillante desde Ikeya-Seki (1965) y, al igual que el otro, fue visible durante el día.
- ✓ En 2013 (año de la publicación de la edición en español de este libro) hay dos cometas visibles a simple vista. En marzo, el C/2011 L4 PanStarrs pudo observarse al atardecer, aunque con alguna dificultad. A finales de noviembre está prevista la visita del cometa C/2012 S1 ISON, que, si no se desintegra al pasar cerca del Sol, se espera que sea tan brillante como el McNaught o incluso más.

El siguiente gran cometa puede llegar en cualquier momento. Sigue buscando, ¡puede que lo descubras tú!



Existen muchísimas páginas web que ofrecen información sobre cometas visibles actualmente, así como fotografías de cometas tomadas por astrónomos aficionados o profesionales. Por lo general, los cometas actuales son demasiado tenues y sólo pueden verse con telescopios avanzados. Visita alguno de estos recursos para asegurarte de tener la información más actualizada sobre los cometas:

- ✓ Comet Chasing ofrece información mensual sobre la visibilidad de los cometas para observadores de varias latitudes del mundo, desde 55° norte hasta 30° sur, en www.cometchasing.skyhound.com.
- ✓ La página de *Sky & Telescope* ofrece consejos sobre cómo observar y fotografiar cometas en www.skyandtelescope.com/observing/objects/comet
- ✓ La Society for Popular Astronomy proporciona información y cartas celestes de cometas visibles desde el Reino Unido (y otros fenómenos celestes). Visita la página de noticias de su web www.popastro.com/news.
- ✓ Southern Sky Watch, de Melbourne (Australia), proporciona información sobre cometas visibles desde Australia; consúltalo en <http://home.mira.net/~reynella/skywatch/ssky.htm>.

- ✓ El sitio web Heavens-Above proporciona mapas de estrellas de los cometas actuales; visita www.heavens-above.com.
- ✓ La página web del Minor Planet Center ofrece una amplia sección dedicada a los cometas, donde podrás encontrar su posición en el cielo día a día y su magnitud: www.minorplanetcenter.net.

A la caza del gran cometa

Encontrar un cometa no es difícil, pero puedes tardar años en encontrar el primero. El famoso cazador de cometas David Levy estudió sistemáticamente el cielo durante nueve años antes de encontrar su primer cometa. Desde entonces, ha encontrado veinte.

El mejor telescopio que se puede utilizar para buscar cometas es uno *de focal corta o rápida*, es decir, aquellos cuyas especificaciones del catálogo incluyen un número *f* bajo (como el número *f* del objetivo de una cámara) — $f/5,6$ o, mejor aún, $f/4$ —. Utiliza un ocular de potencia baja, de 20x o 30x (consulta el capítulo 3). Si eliges el número *f* bajo y el aumento también bajo, con tu telescopio podrás ver una zona del cielo el máximo de grande (es lo que se conoce como *observación de campo amplio*). Los cometas brillantes que quizá descubras son escasos y llegan en muy pocas ocasiones, así que tendrás que buscar mucho para encontrarlos.



Un telescopio relativamente económico con el que empezar la caza de tu cometa es el refractor ecuatorial Orion ShortTube 80, que tiene una lente objetivo de 80 milímetros. Su óptica es buena, e incluye montura ecuatorial y trípode; con una relación focal de $f/5,0$ y oculares de gran campo, justo lo que necesitas para buscar cometas. Este instrumento cuesta unos 225 € en la web de Orion Telescopes & Binoculars, www.telescope.com. (Para obtener más información sobre telescopios y monturas, consulta el capítulo 3. En la figura 3-4 te muestro un refractor con su ocular y objetivo.)

Puedes buscar cometas desconocidos de dos formas: la forma fácil y la forma sistemática. Sigue leyendo para descubrir ambas técnicas y obtener información sobre cómo informar de la existencia de un cometa.

Cómo localizar cometas fácilmente



La forma fácil de buscar cometas consiste en no esforzarse demasiado. Basta con buscar zonas borrosas cuando observes las estrellas u otros objetos del cielo nocturno con tus prismáticos o con tu telescopio. Observa el cielo para detectar un punto borroso (no estrellas, que son puntos de luz nítidos si tus prismáticos están bien enfocados). Si localizas una zona borrosa, consulta tu atlas de estrellas para ver si en ese punto hay algo que se supone que debe tener ese aspecto, como una nebulosa o una galaxia. Si no encuentras nada en el atlas, puede que hayas dado con un cometa, pero antes de emocionarte, espera unas horas para comprobar si el posible cometa se mueve, en relación con las estrellas adyacentes. Si sale el Sol o las nubes se mueven en esa dirección y te tapan la vista, vuelve a mirar la noche siguiente. Si el objeto es un cometa, su posición habrá cambiado respecto a las estrellas. Y si el punto borroso es lo suficientemente brillante, puede que veas una cola, señal de que has encontrado un cometa.

Cómo localizar cometas de forma sistemática

La forma sistemática de buscar cometas se basa en el criterio de que, cuanto más oscuro esté el cielo y más brille el cometa, más fácilmente lo encontrarás. Los cometas que están más cerca del Sol son los más brillantes, pero el cielo está más oscuro lejos del Sol.



Para encontrar un punto medio entre lo más lejos y lo más cerca del Sol, busca cometas al este antes de que amanezca en la parte del cielo que:

- ✓ Esté como mínimo a 40° del Sol (bajo el horizonte).
- ✓ No esté a más de 90° del Sol.

Recuerda que hay 360° alrededor del horizonte, por lo tanto, 90° es una cuarta parte del cielo.

Un *software* de planetario te puede ayudar a trazar las zonas de las constelaciones que cumplen las condiciones necesarias cualquier noche del año (consulta el capítulo 2 para obtener más información sobre estos programas). Evidentemente, puedes buscar cometas al oeste durante el anochecer siguiendo

esas dos reglas sobre la distancia del Sol. Por mi experiencia te diré que los primeros “cometas” que descubras serán las estelas de aviones reactores, que reflejan los rayos del Sol a una altitud elevada, aunque el Sol se haya puesto allí donde estés.

Juega a bautizar objetos espaciales

Si descubres un cometa, la Unión Astronómica Internacional le pondrá tu nombre y posiblemente también el de otras dos personas que informen del mismo cometa de forma independiente.

Si descubres un meteoro, desaparecerá antes de que te dé tiempo de bautizarlo. Puedes gritar “¡José!”, pero no, el nombre no cuajará y puede que atraigas una atención no deseada. Los únicos meteoros que reciben un nombre son los más espectaculares, aquellos que ven miles de personas. Les ponen nombres como “Gran bola de fuego diurna del 10 de agosto de 1972”, pero no hay un procedimiento oficial sobre cómo bautizar a los meteoros.

Si descubres un meteorito, se llamará como la ciudad o zona donde lo viste. El meteorito pertenece al propietario de la tierra donde caiga, y si lo encuentras en tierra del gobierno de Estados Unidos, como un bosque o un parque nacional, va a la Smithsonian Institution.

Si descubres un asteroide, puedes recomendar que le asignen un nombre, pero no puede ser el tuyo. (Consulta el capítulo 7 para obtener más información sobre asteroides.)



Empieza en una esquina de la zona del cielo que tienes previsto examinar y, despacio, barre toda la zona con el telescopio. Muévelo suavemente arriba o abajo y examina la siguiente franja de cielo. Puedes hacer los barridos de izquierda a derecha, o adelante y atrás bustrofedónicamente (un término arcaico que hace referencia a arar un campo con bueyes; los bueyes aran el primer surco en una dirección y después vuelven cruzando el campo, arando en dirección opuesta).

Impresionarás más a tus amigos si les dices que has emprendido un proyecto de búsqueda bustrofedónica de cometas que si les cuentas directamente que has encontrado un cometa. Te subirá la moral (a no ser que tus amigos decidan lo contrario).

Cómo informar de un cometa

Cuando descubres un cometa, debes seguir las instrucciones que encontrarás en la web de la Oficina Central de Telegramas sobre Astronomía de la Unión Astronómica Internacional (que ya no usa telegramas, sino correos electrónicos) para informar de su existencia. El sitio web es www.cbat.eps.harvard.edu/index.html.

En la oficina central de la UAI no son bienvenidas las falsas alarmas, así que intenta que un amigo compruebe tu descubrimiento antes de difundir la noticia. Si el descubrimiento se comprueba, tú (en calidad de aficionado que ha descubierto un cometa) puede que reúnas los requisitos necesarios para obtener una recompensa del Edgar Wilson Award, tal como se describe en la web de la oficina central de la UAI.

De todas formas, aunque nunca descubras un cometa (la mayoría de los astrónomos nunca lo consiguen), puedes disfrutar de los cometas que encuentran otras personas.

Satélites artificiales: una relación amor-odio permanente

Un satélite artificial es un objeto que las personas construyen y lanzan al espacio, donde orbitará alrededor de la Tierra o de cualquier otro cuerpo celeste. Los satélites artificiales que orbitan alrededor de nuestro planeta nos muestran los fenómenos meteorológicos, controlan *El Niño*, emiten programas de televisión y montan guardia ante lanzamientos de misiles intercontinentales por parte de potencias hostiles. Además, pueden usarse en el campo de la astronomía.

El telescopio espacial *Hubble* es un satélite artificial que les encanta a los astrónomos. Les ofrece imágenes sin igual de las estrellas y las galaxias distantes y permite ver el universo con luz ultravioleta e infrarroja que, de otro modo, estaría bloqueada por las gruesas capas de la atmósfera terrestre. (Al cierre de esta edición, la NASA tiene previsto que el *Hubble* continúe en funcionamiento durante varios años, pero como máximo para el 2025, será retirado de su órbita y caerá al mar.)

Sin embargo, los satélites artificiales también pueden captar los rayos del Sol poniente o incluso de cuando ya se ha puesto. Al captar la luz del Sol, se convierten en puntos de luz que pueden moverse a través de la parte del cielo en la que el astrónomo está haciendo una fotografía de las estrellas tenues. Los astrónomos no aprecian esta interferencia. Peor aún, algunos satélites artificiales emiten en frecuencias de radio que interfieren con las antenas de radio que utilizan los astrónomos para recibir las emisiones de radio naturales del espacio. Las ondas de radio celestes puede que hayan viajado durante cinco mil millones

años desde un quasar, o que hayan tardado cinco mil años en llegar a nosotros desde otro sistema solar de la Vía Láctea, posiblemente con un saludo de alienígenas benévolos que quieren enviarnos la cura para el cáncer. Pero cuando llegan esas ondas, el tono a todo todo volumen, y las modulaciones estridentes de un satélite que pasa por encima del observatorio interfieren con nuestra recepción. Puede que nunca sepamos qué noticias nos enviaban desde el planeta de los alienígenas.

Por eso, los astrónomos valoramos los satélites cuando hacen algo bueno por nosotros y los odiamos cuando interfieren con nuestras observaciones. Pero como no hay mal que por bien no venga, los aficionados a la astronomía se han convertido en entusiastas observadores y fotógrafos de satélites artificiales que pasan por encima de nuestras cabezas.

Observa el cielo para ver satélites artificiales

Cientos de satélites en funcionamiento orbitan alrededor de la Tierra, junto a miles de escombros espaciales en órbita: satélites que ya no funcionan, partes superiores de cohetes lanzados por satélite, piezas de satélites que se rompieron o explotaron y pequeños desconchones de pintura de satélites y cohetes.

Quizá puedas ver la luz reflejada por cualquiera de los satélites grandes y de los escombros espaciales. Un radar de defensa potente puede seguir incluso las piezas pequeñas.

La mejor forma de empezar a observar satélites artificiales es buscar los grandes (como la Estación Espacial Internacional de la NASA o el telescopio espacial *Hubble*), los brillantes y los que emiten destellos (las docenas de satélites de comunicación Iridium).



Buscar un satélite artificial grande o brillante puede infundir tranquilidad al astrónomo principiante. A veces, las predicciones de cometas y lluvias de meteoros son erróneas, los cometas son más tenues de lo que esperas, y, a menudo, ves menos meteoros de los que se habían anunciado. Sin embargo, las predicciones de observaciones de satélites artificiales suelen ser certeras. Puedes sorprender a tus amigos llevándoles al aire libre a primera hora de una tarde clara, consultar el reloj y decir “Hum, la Estación Espacial Internacional tendría que pasar más o menos por ahí (y señalas hacia la derecha mientras lo dices) dentro de un minuto o dos”. Y, justo entonces, ¡pasa!



¿Quieres saber qué mirar? No hay problema. Éstas son algunas de las características que puedes buscar en satélites grandes y en satélites brillantes:

- ✓ Un satélite grande, como el telescopio espacial *Hubble* o la Estación Espacial Internacional, suele aparecer por la tarde como un punto de luz que se mueve de forma constante y visible de oeste a este en la mitad oeste del cielo. Se mueve demasiado despacio para que lo confundas con un meteoro, y demasiado de prisa para ser un cometa. Puedes verlo a simple vista, así que no puede ser un asteroide (además, se mueve más de prisa que un asteroide).

En ocasiones, puedes confundir un avión reactor que vuele a una gran altitud con un satélite, pero usa los prismáticos. Si es un avión, tendrías que distinguir las luces de dirección o su silueta contra la tenue iluminación del cielo nocturno. Y si estás en un lugar tranquilo, quizá puedas oír el ruido del avión. Pero si es un satélite, no oirás nada.

- ✓ Un satélite Iridium muestra unas características totalmente distintas: suele aparecer como un destello de luz en movimiento que alcanza un brillo notable y que, al cabo de varios segundos, se apaga. Se mueve mucho más despacio que un meteoro. Y una fulguración o destello de luz de un satélite Iridium a menudo es más brillante que Venus, cuyo brillo en el cielo nocturno sólo supera la Luna. El Sol, situado por debajo de tu horizonte, se refleja en una de las antenas planas del satélite. Son de aluminio, del tamaño de una puerta y provocan el destello de luz. En las fiestas de estrellas, la gente se entusiasma cuando ve fulguraciones de Iridium, como cuando ven una bola de fuego. También puedes ver fulguraciones de Iridium con luz diurna.

Además, ten en cuenta lo siguiente: existen más de sesenta satélites de Iridium en órbita. Interfieren con la astronomía y los astrónomos quieren que desaparezcan... pero, como mínimo, tienen un destello que nos entretiene.



Algunos periódicos y meteorólogos de la televisión ofrecen predicciones diarias u ocasionales para ver satélites en tu zona. Puedes obtener información más detallada consultando estos sitios web:

- ✓ Para la Estación Espacial Internacional y el telescopio espacial *Hubble*, *Sky & Telescope* ofrece un programa de seguimiento de satélites en www.skyandtelescope.com/observing/objetos/javascript/3304316.html. Cuando uses este programa, cambia los parámetros que aparecen por defecto para indicar tu latitud, longitud y huso horario.
- ✓ Para satélites de comunicación Iridium, la web de Heavens-Above ofrece prácticas predicciones en www.heavens-above.com. Además, esta página web también proporciona predicciones para hacer observaciones de fulguraciones de Iridium durante el día.
- ✓ Heavens-Above también es una buena fuente de información sobre cómo observar el telescopio espacial *Hubble*. Haz clic en el vínculo *HST* del apartado *Satélites* para conseguir una lista de observaciones para tu zona.

También puedes utilizar una aplicación para *smartphone* para localizar un satélite brillante:

- ✓ Si tienes iPhone, utiliza Go Sat Watch.
- ✓ Para teléfonos Android, utiliza Iridium Flares o Sky Junk.

Después de ver algunos satélites artificiales brillantes, intenta fotografiarlos. Sigue las instrucciones del apartado “Cómo fotografiar meteoros y lluvias de meteoros” que aparece en este capítulo. No recomiendo las cámaras digitales automáticas para hacer fotos de meteoros ni de satélites. Sólo la Estación Espacial Internacional quizá sea lo suficientemente brillante como para captarla con ese tipo de cámara.

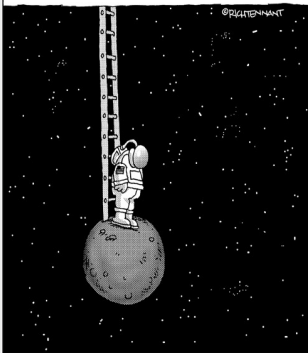
Parte II

Date una vuelta por el Sistema Solar

The 5th Wave

Rich Tennant

AL FINAL, CARL HA ENTENDIDO POR QUÉ HAN DEGRADADO
A PLUTÓN Y AHORA ES UN PLANETA ENANO.



En esta parte...

¿Sabes qué? Los hombres no son de Marte, y las mujeres no son de Venus. De hecho, ningún planeta puede albergar vida tal y como la conocemos. Venus es demasiado cálido; Marte, demasiado frío y, según los científicos, ninguno de los dos tiene agua líquida.

En esta parte explico cómo son de verdad los planetas de nuestro Sistema Solar. ¿Hubo vida en Marte? ¿Qué es la luna de Júpiter, Europa? Hay misiones espaciales y de investigación en marcha, pero de momento te contaré lo que saben los científicos por ahora.

Si has visto alguna de esas películas de “¡Oh, no! ¡Un gran asteroide se dirige a la Tierra!”, quizá te preguntes si podría llegar a pasar. Incluyo un capítulo sobre los asteroides en el que te cuento si hay o no riesgo de que choquen contra la Tierra.

Capítulo 5

Una pareja inseparable: la Tierra y su Luna

En este capítulo

- ▶ Descubrirás la Tierra como planeta
 - ▶ Comprenderás el tiempo, las estaciones y la edad de la Tierra
 - ▶ Prestarás atención a las fases y características de la Luna
-

A menudo, la gente piensa en los planetas como objetos que están en el cielo, como Júpiter y Marte. En la antigua Grecia (y durante siglos) distinguían entre la Tierra, que consideraban el centro del universo, y los planetas. Pensaban que los planetas eran pequeñas luces en el cielo que giraban alrededor de la Tierra.

Hoy en día sabemos mucho más. La Tierra también es un planeta, y no es el centro del universo. Ni siquiera es el centro de nuestro Sistema Solar, porque el Sol posee ese título. La Luna orbita alrededor de la Tierra, junto a cientos de satélites artificiales (consulta el capítulo 4), y eso es todo. Al igual que la Tierra, otros siete planetas orbitan en torno al Sol en el Sistema Solar, Plutón (denominado planeta enano), un número elevado de lunas, un cinturón de asteroides, millones de cometas y más cuerpos celestes. Sin embargo, de momento, no tenemos constancia de que exista vida en nuestro Sistema Solar, exceptuando la Tierra.

Si bien es cierto que la Tierra ha caído de su pedestal en el pensamiento humano como centro del universo, mantiene un estatus importante: este planeta es nuestro hogar. Y no hay otro lugar del Sistema Solar en el que nos sintamos como en casa.

La Tierra es lo que los astrónomos denominan un planeta *terrestre*. Parece una definición obvia, porque *terrestre* significa ‘de la Tierra’, pero el significado científico del término es ‘planeta rocoso que orbita alrededor del Sol’. Los cuatro planetas más próximos al Sol son los planetas terrestres de nuestro Sistema Solar:

Mercurio, Venus, la Tierra y Marte, en orden de distancia desde el Sol.

Hay quien considera que la Luna es un planeta terrestre y ve el sistema Tierra-Luna como un planeta doble. Para los alienígenas que quieran visitarnos, esta distinción les puede resultar útil: “Tienes que dirigirte a la estrella amarilla-blanca del sector 49,832 del Brazo de Orión, en la Vía Láctea, y centrarte en la tercera roca a partir de ese Sol, un planeta doble fácil de distinguir.”

La Tierra bajo el microscopio astronómico

La Tierra es única entre los planetas conocidos. En los siguientes apartados te cuento por qué y resumo algunas de sus características principales y cómo afectan a aspectos astronómicos como la hora y las estaciones. Y si has olvidado cómo es, puedes mirar una bonita foto de la NASA en nuestra página web, en la que se muestran la Tierra y la Luna juntas.

Única en su especie: las características singulares de la Tierra

¿Qué hace que la Tierra sea tan especial? Para empezar, vivimos en el único planeta conocido que tiene estas características:

- ✓ **Agua líquida en la superficie:** La Tierra tiene lagos, ríos y océanos, a diferencia de cualquier otro planeta conocido. Por desgracia, también tiene tsunamis y huracanes. Los océanos cubren el 70 % de la superficie de la Tierra.
- ✓ **Gran cantidad de oxígeno en el aire:** El aire de la Tierra contiene un 21 % de oxígeno; ningún otro planeta tiene más que un resto de oxígeno en su atmósfera actual, que sepamos (la mayor parte de la atmósfera de la Tierra, alrededor del 78 %, es nitrógeno).
- ✓ **Tectónica de placas (también conocida como *deriva continental*):** La corteza terrestre está compuesta por enormes placas de roca en movimiento; cuando las placas colisionan, se producen terremotos y aparecen nuevas montañas. Surge una corteza nueva en las dorsales centro-oceánicas, en las profundidades del mar, lo que provoca que el fondo marino se extienda. (Si quieres descubrir una sorprendente propiedad del fondo marino, consulta el apartado “El fondo marino de la Tierra y sus propiedades magnéticas”, más adelante en este capítulo.)

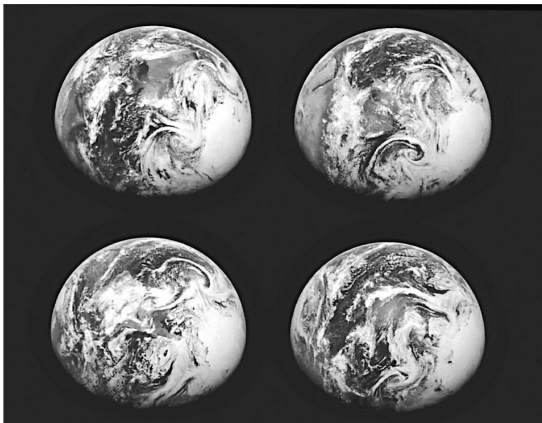
- ✓ **Volcanes activos:** Roca fundida caliente, que sube desde las profundidades hasta la superficie, y forma enormes accidentes geográficos volcánicos como las islas de Hawái. Todos los días se produce alguna erupción volcánica en algún lugar de la Tierra.
- ✓ **Vida, inteligente o de otro tipo:** Dejaré que seas tú quien juzgue si hay inteligencia, pero en la Tierra abunda la vida: desde virus, bacterias y amebas unicelulares a flores y árboles, peces y aves, insectos y mamíferos.

Los investigadores están intentando averiguar si alguna vez planetas como Marte y Venus podrían haber compartido alguno de estos rasgos con la Tierra (consulta el capítulo 6). Sin embargo, que sepamos, ahora allí no existe vida, y no tenemos pruebas de que alguna vez haya existido.

Los científicos creen que la presencia de agua líquida en la superficie de la Tierra es una de las razones principales de que aquí florezca la vida. Puedes pensar en formas de vida avanzadas en otros mundos, ya que las ves en la televisión y en el cine, pero todas esas visiones son fruto de la imaginación. Los científicos no tienen pruebas de que exista o haya existido vida en un lugar que no sea la Tierra.

Esferas de influencia: las distintas regiones de la Tierra

En la figura 5-1 se muestran cuatro imágenes de la Tierra tal como se ve desde el espacio. Los patrones de tierra, mar y nubes de la Tierra son claramente visibles.



Cortesía de la NASA

Figura 5-1:

Cuatro visiones que muestran la cara cambiante de la Tierra

Disfruta de las auroras boreales

La aurora boreal o austral es una de las visiones más bonitas del cielo nocturno y, para muchas personas, una rareza. En función de si vives en el hemisferio norte o en el sur, verás la *aurora boreal* o la *aurora austral*, respectivamente.

Este tipo de fenómenos aparecen cuando los flujos de electrones de la magnetosfera de la Tierra caen sobre la atmósfera que hay más abajo y excitan el oxígeno y otros átomos que, como consecuencia, brillan. El inquietante resplandor del cielo nocturno puede mantenerse inmóvil unos minutos u horas o cambiar constantemente (algo que dificulta que un observador principiante lo identifique). Puede relucir, palpar o emitir destellos de luz en el cielo. La aurora se presenta de muchas formas; éstas son algunas de las más comunes:

✓ **Resplandor:** La aurora más sencilla. Los resplandores parecen finas nubes que reflejan la luz de la Luna o las luces de la ciudad. Pero no son nubes, sólo la inquietante luz de la aurora.

✓ **Arco:** Tiene forma de arcoíris, pero no hay luz del Sol que lo haga. El tipo de arco más común es un arco verde estable o pulsante, pero, a veces, aparecen tenues arcos rojos.

✓ **Cortina:** También se denominan *tapices*. Esta espectacular aurora parece el telón de un teatro, pero aquí la estrella del espectáculo es la naturaleza.

✓ **Rayos:** Una o más líneas largas, finas y brillantes que aparecen como haces tenues desde el cielo.

✓ **Corona:** Corona alta sobre nuestra cabeza en el cielo, con rayos que emanan en todas direcciones.

Las auroras boreales y australes se producen constantemente en dos bandas geográficas alrededor de la Tierra en latitudes elevadas del norte y del sur. Quienes viven bajo estos dos *óvalos aurorales* las ven cada noche. Sin embargo, puede haber grandes excepciones: cuando una gran perturbación en el viento solar (consulta el capítulo 10) golpea la magnetosfera, los óvalos se desplazan hacia el Ecuador. Quienes viven en las *zonas aurorales* (la tierra que hay bajo los óvalos) puede que se pierdan su aurora, pero los observadores del cielo de latitudes más cercanas al ecuador, que rara vez las ven, disfrutan de un magnífico espectáculo. Los momentos con mayor probabilidad de ver auroras brillantes fuera de las zonas aurorales son los primeros años después del punto máximo del ciclo de manchas solares, así que mantén los ojos abiertos para ver auroras en 2013 y los años siguientes. Si estás en el hemisferio norte y no quieres esperar a que venga una aurora hasta ti, visita un punto situado a una latitud elevada, donde te acerques al óvalo auroral del norte y puedas ver la aurora en cualquier noche despejada y oscura. Aquí tienes algunos lugares famosos para ver auroras:

✓ **Fairbanks, Alaska** (<http://fairbanks-alaska.com/northernlights-alaska.htm>).

✓ **Yellowknife, Canadá**, capital de los territorios del noroeste, donde puedes “relajarte en las tumbonas o tipis para observar al aire libre y sin pasar frío” y disfrutar de un espectáculo en el cielo de Aurora Village (www.auroravillage.com).

✓ **Tromsø, Noruega** y zonas cercanas. Puedes observar la aurora desde tu hotel, a lomos de un caballo en un fiordo, en una caminata con raquetas de nieve, conducir un trineo de renos hasta un punto de observación remoto de

noche, o vivir una aventura similar en un trineo tirado por perros (www.visittromso.no/de/Activities/Aurora-Experiences).

La buena noticia sobre estas localidades del norte es que tendrás fantásticas vistas de auroras boreales (siempre que el tiempo lo permita). La mala es que el mejor momento para ver la aurora en estos gélidos lugares es de diciembre a marzo, la época más fría del año. En otros momentos, las noches son más cortas, así que la probabilidad de verlas es menor.

Si vives en el hemisferio norte y quieres buscar una aurora, consulta la previsión diaria de auroras boreales de la web del Instituto Geofísico de la Universidad de Alaska, en www.gi.alaska.edu/AuroraForecast. O mejor, consigue la previsión en tu *smartphone*; basta con descargar la aplicación desde esa página web. En Gran Bretaña, puedes suscribirte a AuroraWatch UK para recibir alertas de aurora por correo electrónico o a través de redes sociales. Suscríbete en <http://aurorawatch.lancs.ac.uk>.

Si la aurora no es visible donde tú vives, igualmente puedes ver imágenes en vivo de la aurora (excepto durante el verano en el hemisferio norte) a través de la cámara AuroraMAX de la Agencia Espacial Canadiense. Visita www.asc-csa.gc.ca/eng/astronomy/auroramax/connect.asp.

Los científicos clasifican las zonas de la Tierra en estas categorías:

- ✓ **Litosfera:** Regiones rocosas de nuestro planeta.
- ✓ **Hidrosfera:** Agua de los océanos, lagos y otros puntos de la Tierra.
- ✓ **Criósfera:** Regiones cubiertas por hielo, sobre todo los casquetes polares de la Antártida y Groenlandia.
- ✓ **Atmósfera:** El aire desde el nivel del suelo hasta cientos de kilómetros.
- ✓ **Biosfera:** Todos los seres vivos de la Tierra (en tierra, mar, aire y bajo tierra).

Por lo tanto, tú formas parte de la biosfera que vive en la litosfera, bebes de la

hidrosfera y respiras en la atmósfera (también puedes visitar la criósfera). No conozco otro sitio en el espacio en el que puedas hacer todo eso.

Además de las regiones que describo en la lista anterior, otra parte importante de nuestro planeta es la *magnetosfera*, que tiene una función vital en la protección de la Tierra frente a muchas de las emisiones peligrosas del Sol (consulta el capítulo 10). En ocasiones también se llaman *cinturones de radiación de la Tierra* (o cinturones de radiación de Van Allen, en honor a James Van Allen, un físico estadounidense que los descubrió con el primer satélite artificial de Estados Unidos, el *Explorer 1*). La magnetosfera está formada por partículas cargadas eléctricamente (sobre todo por electrones y protones) que brincan por encima de la Tierra, atrapadas en su campo magnético.

A veces, algunos de los electrones se escapan y caen sobre la atmósfera de la Tierra que está debajo, chocando contra los átomos y las moléculas y haciendo que brillen. Este brillo se denomina *aurora boreal o aurora austral* (consulta el apartado “Disfruta de las auroras boreales” de este capítulo para informarte sobre cómo ver auroras).

La superficie sólida de la Tierra (la parte en la que estamos) es la corteza. Debajo de la corteza se encuentran el manto y el núcleo. El núcleo está formado mayormente por hierro y níquel, y está muy caliente llega a unos 7.000 °C en su centro. El núcleo también tiene capas: la exterior está en un estado fundido, pero la interior es sólida.

La presión extremadamente elevada de las capas superpuestas hace que el hierro caliente del núcleo interior se solidifique. Cuando la Tierra se enfría dentro de millones de años, la parte sólida del centro aumentará de tamaño a costa del núcleo fundido que lo rodea, como un cubito de hielo que crece cuando se enfría el líquido que lo envuelve.

El núcleo de la Tierra está muy por debajo de nuestro límite de excavación, pero produce un efecto que cualquier persona puede observar en la superficie. El movimiento de los flujos de hierro fundido del núcleo exterior genera un campo magnético que llega a todo el planeta y lejos en el espacio, lo que recibe el nombre de *campo geomagnético*.

El campo geomagnético:

- ✓ Hace que la aguja de una brújula apunte al norte (o al sur).
- ✓ Proporciona un sistema invisible de orientación para palomas mensajeras, algunas aves migratorias e incluso algunas bacterias que viven en el océano.
- ✓ Forma la magnetosfera lejos por encima de la Tierra.

- ✓ Protege la Tierra de partículas del espacio cargadas eléctricamente, como el viento solar y los rayos cósmicos (partículas de alta energía y velocidad elevada que proceden de explosiones en el Sol y de puntos lejanos del espacio).



El fondo marino de la Tierra y sus propiedades magnéticas

Según algunos estudios geofísicos, a cada lado de las dorsales centro-oceánicas existen patrones de roca magnetizada en el fondo marino. La roca se magnetizó al enfriarse y pasar de un estado fundido a uno sólido, porque atrapó y “congeló” parte del campo magnético de la Tierra que la permeaba. Por eso, la roca del fondo marino se asemeja a un imán, con un campo magnético que tiene fuerza y dirección. Después de que se solidificara la roca, su campo magnético ya no podía cambiar, y se convirtió en un campo magnético fósil. Es como un fósil de dinosaurio, que siempre conservará la forma que tenía en el momento de morir.

Los patrones descubiertos cerca de las dorsales centro-oceánicas están formados por franjas de roca magnetizada de cientos de kilómetros de largo, paralelos a las cadenas montañosas, y que alternan su polaridad. Una franja tiene una polaridad magnética norte, como una barra magnética que atrae la aguja de una brújula que apunta al norte; la franja siguiente tiene la polaridad opuesta, y así sucesivamente.

Las franjas alternas de roca con carga magnética opuesta son resultado de la roca nueva que emerge de las dorsales centro-oceánicas, se enfría y se magnetiza, y que se separa de las cadenas dorsales cuando la empuja la roca más nueva. Las franjas de carga magnética opuesta muestran que de vez en cuando el campo geomagnético cambia de dirección, como una barra magnética que giras 180° a intervalos, aunque los intervalos del campo geomagnético van de mil a un millón de años.

Un proceso desconocido provoca que el campo geomagnético generado en la profundidad del núcleo de la Tierra se revierta cada cierto tiempo. Este efecto se preserva en los campos magnéticos fósiles de la roca del fondo marino y en la de los continentes que antiguamente estaban bajo el mar.

¿Por qué mencionar todo esto sobre el fondo marino en un libro de astronomía? Porque esta propiedad única de la Tierra puede corresponder a

un fenómeno descubierto en Marte. Mientras los científicos evalúan las pruebas reunidas de varios planetas terrestres, incluida la Tierra, encontramos semejanzas y diferencias que nos ayudan a comprenderlos. Esta investigación recibe el nombre de *planetología comparada* y la comento con más detalle en las descripciones de Marte y Venus del capítulo 6.

El campo geomagnético es un campo magnético planetario global, es decir, que se extiende por toda la Tierra y que se genera de forma continua. Marte, Venus y la Luna carecen de un campo magnético como el de la Tierra, y esta diferencia ofrece a los científicos información sobre los núcleos de estos objetos. Si quieres obtener más información sobre el núcleo lunar, consulta el apartado “Un gran impacto: teoría sobre el origen de la Luna” que aparece más adelante en este capítulo.

Estudio del tiempo, las estaciones y la edad de la Tierra

Quizá te cueste de creer, pues los relojes forman parte de nuestro día a día, pero la rotación de la Tierra fue la base de nuestro sistema para medir el tiempo. Además, ahora sabemos que el movimiento orbital de la Tierra y la inclinación de su eje producen las estaciones. Llevamos jugando al corro de la patata alrededor del Sol desde hace mucho tiempo; la Tierra tiene unos cuatro mil seiscientos millones de años.

La órbita a través del tiempo

Hoy en día, los científicos tienen relojes atómicos que miden el tiempo con gran precisión. Sin embargo, al principio y hasta una época bastante reciente, medíamos el tiempo basándonos en la rotación de la Tierra.

¿Cómo vuela el tiempo?

La Tierra gira una vez sobre su propio eje cada 24 horas. Gira de oeste a este (en sentido contrario a las agujas del reloj si se mira desde el espacio, por encima del Polo Norte). La duración del día, 24 horas, es el tiempo medio que tarda el Sol en salir, ponerse y volver a salir de nuevo. Este proceso recibe el nombre de *tiempo solar medio* y es equivalente al tiempo estándar que marca tu reloj.

Por tanto, la duración del día es de 24 horas de tiempo solar medio. Un año

está formado por unos 365 días, el tiempo que tarda la Tierra en describir una órbita completa alrededor del Sol.

Como la Tierra se mueve alrededor del Sol, el momento en el que ves salir al Sol depende tanto de la rotación de la Tierra como de su movimiento orbital.

La Tierra gira una vez cada 23 horas, 56 minutos y 4 segundos respecto a las estrellas. Este intervalo de tiempo recibe el nombre de *día sidéreo* (*sidéreo* significa ‘relativo a las estrellas’). Fijate en que la diferencia entre 24 horas y 23 horas, 56 minutos y 4 segundos es de 3 minutos y 56 segundos, alrededor de 1/365 de un día. Esta diferencia no es casualidad, sino que se da porque, durante un día, la Tierra se mueve a través de 1/365 de su órbita alrededor del Sol.



En el pasado, los astrónomos dependían de unos relojes especiales llamados *relojes sidéreos* que medían el tiempo sidéreo registrando 24 horas siderales durante un intervalo de 23 horas, 56 minutos y 4 segundos de tiempo solar medio. Las horas, minutos y segundos sidéreos son ligeramente más cortos que las unidades correspondientes de tiempo solar. Al utilizar relojes sidéreos, los astrónomos podían seguir las estrellas para apuntar los telescopios correctamente. Sin embargo, ya no necesitamos hacerlo. Los programas informáticos que apuntan los telescopios o que muestran el cielo en un *smartphone* o un *software* de planetario, como describo en el capítulo 2, se ocupan de hacer los cálculos por ti, así que puedes utilizar la hora estándar de tu huso horario para averiguar dónde aparecen las distintas estrellas y constelaciones en el cielo.

Además, los astrónomos mantienen la costumbre de informar de sus observaciones astronómicas en un sistema común denominado UT (Tiempo Universal) o GMT (Tiempo del Meridiano de Greenwich). El UT es el tiempo estándar en Greenwich (Inglaterra). Si vives en América del Norte, la hora estándar de tu zona siempre será anterior a la hora de Greenwich. Por ejemplo, en Nueva York, el Sol sale unas cinco horas después de haber salido en Greenwich. Cuando el reloj marca las seis de la madrugada en Greenwich, los relojes de Nueva York están a punto de dar la una de la mañana.

Un tiempo definido con más precisión es el UTC (Tiempo Universal Coordinado), en la práctica idéntico al VT, el estándar internacional oficial.

La búsqueda de segundos intercalares

La Tierra tarda 365 y $\frac{1}{4}$ días en girar alrededor del Sol, pero un año de calendario normal es sólo de 365 días. Por eso añadimos un día, el 29 de febrero, cada cuatro años. Ese cuarto año se denomina *año bisiesto* y el día añadido

ayuda a sincronizar la Tierra y el calendario.

También existe un problema de sincronización entre la rotación de la Tierra y la duración de un día natural: de vez en cuando, la Tierra gira un poquitín más despacio de lo habitual, quizá debido a un gran fenómeno meteorológico como *El Niño*. Estas discrepancias se acumulan y, antes de que te des cuenta, la Tierra gira desajustada respecto al tiempo que marcan los ultraprecisos relojes atómicos. En ocasiones como ésta, las autoridades internacionales declaran un segundo intercalar, que se añade a la UTC. Cuando se realiza ese pequeño ajuste, los ingenieros de todo el mundo aguantan la respiración y cruzan los dedos, esperando que el ajuste no afecte a los GPS, al control del tráfico aéreo y otros sistemas cruciales que dependen del tiempo. Estados Unidos y otros países quieren abolir los segundos intercalares, pero el Reino Unido y otros países desean mantenerlos. Se espera tomar una decisión sobre el futuro del segundo intercalar en el año 2015.



Cómo encontrar el momento adecuado

En Estados Unidos, el encargado del tiempo es el Observatorio Naval de Estados Unidos (USNO) de Washington, DC. En cualquier momento puedes consultar la UTC en la página web de su reloj maestro: <http://tycho.usno.navy.mil/what.html>. En esta página también puedes encontrar la hora sidérea local aparente del punto en el que te encuentres. La *hora sidérea local aparente* es igual a la ascensión recta (consulta el capítulo 1) de las estrellas de tu meridiano, es decir, la línea imaginaria desde el cénit hasta el punto sur del horizonte. La mejor ubicación de una estrella para que pueda observarse es cuando está en el meridiano.

En España el organismo a cargo del tiempo es el Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando (Cádiz). Puedes visitar su web para saber qué hora exacta es en España en cualquier momento: www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/ciencia_observatorio/prefLang_en/06_Hora--01_QueHoraEs.



Para determinar el huso horario estándar que se aplica en cualquier lugar del mundo y convertirlo a UTC (Tiempo Universal Coordinado),

consulta el mapa de husos horarios mundiales de la (Oficina del Almanaque Náutico de Su Majestad) en http://aa.usno.navy.mil/faq/docs/world_tzones.php.

En la España peninsular, el horario de verano está avanzado dos horas respecto al horario UTC, es decir, cuando en julio son las tres de la tarde en Madrid, la hora UTC es la una de la tarde. En cambio, en invierno, sólo vamos una hora por delante del horario UTC. Y, bueno, como dicen los locutores de radio, “una hora menos en Canarias”.

Ideas básicas sobre las estaciones

Enseñar a los estudiantes qué origina las estaciones es una de las tareas más frustrantes para cualquier profesor de astronomía. No importa el cuidado con el que el profesor explique que las estaciones no tienen nada que ver con lo lejos que estemos del Sol muchos estudiantes no lo entienden. Incluso algunos estudios realizados en la Universidad de Harvard muestran que hay brillantes licenciados universitarios que piensan que cuando la Tierra está más cerca del Sol, es verano y, cuando está más lejos, invierno.

Los estudiantes olvidan que, cuando llega el verano al hemisferio norte, en el sur es invierno. Y cuando los australianos están haciendo surf en verano, la gente de Estados Unidos lleva abrigo. Australia y Estados Unidos están en el mismo planeta. La Tierra no puede estar más lejos y más cerca del Sol al mismo tiempo. La Tierra es un planeta, no puede estar en dos sitios a la vez por arte de magia.

La causa real de las estaciones es la inclinación del eje de la Tierra (consulta la figura 5-2). El *eje*, la línea imaginaria que pasa a través de los polos norte y sur, no es perpendicular al plano de la órbita de la Tierra alrededor del Sol. De hecho, el eje está inclinado en $23,5^\circ$ desde la perpendicular hasta el plano orbital. El eje apunta al norte, a un lugar entre las estrellas, de hecho, cerca de la Estrella Polar (como mínimo, a corto plazo; el eje cambia lentamente la dirección a la que apunta, así que la Estrella Polar de una era no será la misma en un futuro lejano).

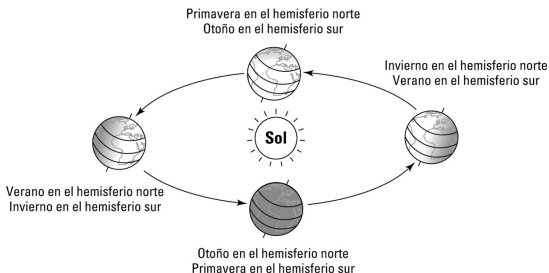


Figura 5-2:

La inclinación del eje de la Tierra determina las estaciones

Actualmente, la Estrella Polar, también llamada Polaris, es la estrella Alfa Ursae Minoris, ubicada en el Carro Pequeño de la constelación de la Osa Menor, Ursa Minor. Si te pierdes de noche y quieres ir hacia el norte, localiza el Carro Pequeño (consulta el capítulo 3 para obtener más información sobre cómo encontrar Polaris).

El eje de la Tierra apunta hacia “arriba” a través del polo norte y hacia “abajo” a través del polo sur. Cuando la Tierra está a un lado de su órbita, el extremo que señala hacia arriba también señala aproximadamente hacia el Sol, de forma que al mediodía el Sol se sitúa alto en el cielo en el hemisferio norte. Seis meses más tarde, el eje apunta hacia arriba pero ligeramente separado del Sol. De hecho, el eje siempre apunta en la misma dirección en el espacio, pero la Tierra ahora se ha trasladado al lado opuesto del Sol. El verano llega al hemisferio norte cuando el extremo del eje que apunta hacia arriba, a través del polo norte, apunta aproximadamente hacia el Sol. Cuando sucede, el Sol del mediodía está más alto en el cielo que en otras estaciones del año, por eso brilla de forma más directa en el hemisferio norte y proporciona más calor. Al mismo tiempo, el extremo del eje que apunta hacia abajo a través del polo sur se aleja del Sol, así que éste brilla más bajo en el cielo al mediodía que en cualquier otra estación del año, de modo que hay menos luz solar directa y, en consecuencia, es invierno en Australia.

Disfrutamos de más horas de luz solar en verano porque el Sol está más alto en el cielo. El Sol tarda más en llegar a esa altura y también en ponerse.

Como orbitamos alrededor del Sol, parece que éste se mueva a través del cielo, siguiendo un círculo llamado *eclíptica*, mencionado en el capítulo 3. La eclíptica está inclinada respecto al Ecuador en el mismo ángulo que la inclinación

del eje de la Tierra sobre su eje: $23,5^\circ$. En el viaje anual del Sol alrededor de la eclíptica existen algunos momentos clave tal y como se experimenta en el hemisferio norte:

- ✓ **Equinoccio de primavera:** El primer día de primavera, el Sol cruza el Ecuador desde “debajo” (sur) hasta “encima” (norte).
- ✓ **Solsticio de verano:** El Sol alcanza el punto más lejano al norte de la eclíptica.
- ✓ **Equinoccio de otoño:** El Sol cruza el Ecuador y vuelve al sur; empieza el otoño.
- ✓ **Solsticio de invierno:** En la eclíptica, el Sol llega lo más lejos posible hacia el sur.

En el hemisferio norte, el solsticio de verano es el día con más horas de luz solar del año, ya que el Sol alcanza su posición más alta en el cielo: tarda más en alcanzar esa altura y volver después al horizonte. Del mismo modo, el solsticio de invierno del hemisferio norte es el día con la menor cantidad de horas de luz solar del año.

En definitiva, en eso consisten el tiempo y las estaciones.

Estimación de la edad de la Tierra

Medir la radiactividad es la única forma precisa que tenemos para datar cosas muy antiguas de la Tierra o del Sistema Solar. Algunos elementos, como el uranio, tienen formas inestables denominadas *isótopos radiactivos*. Un isótopo radiactivo se convierte en otro isótopo del mismo elemento, o en un elemento distinto, a un ritmo determinado por la *media vida* de la sustancia radiactiva. Si la media vida tiene un millón de años, por ejemplo, la mitad del isótopo radiactivo que estaba presente originalmente se habrá convertido en otra sustancia (denominada *isótopo hijo*) cuando haya transcurrido un millón de años, dejando la mitad radiactiva. Y la mitad de la mitad restante se convierte en isótopo hijo en otro millón de años. Por eso, después de dos millones de años, solamente existe el 25 % de los átomos de los isótopos radiactivos originales. Al cabo de tres millones de años, solamente queda el 12,5 %. Y así sucesivamente.

Cuando los átomos de isótopo radiactivo original, llamados *átomos padre*, y los átomos hijo quedan atrapados juntos en una roca o metal, por ejemplo, en un

meteorito, los científicos pueden contar la cantidad de átomos de cada tipo para determinar la edad de la roca en un proceso denominado *datación radiactiva*.

Los científicos han utilizado este tipo de datación para determinar que las rocas más antiguas de la Tierra tienen alrededor de 3.800 millones de años. Sin embargo, la edad de la Tierra es mucho mayor. La erosión, la formación de montañas y el *vulcanismo* (la erupción de roca fundida desde el interior de la Tierra, incluso la formación de volcanes nuevos) destruyen constantemente las rocas de la superficie, de manera que las rocas de la superficie original de la Tierra hace tiempo que han desaparecido.

En cambio, los meteoritos arrojan dataciones radiactivas de cuatro mil seiscientos millones de años. Los meteoritos se consideran escombros de asteroides y los asteroides, a su vez, escombros del Sistema Solar más primitivo, cuando se formaron los planetas (consulta el capítulo 7 para obtener más información sobre los asteroides).

Así, los científicos piensan que la Tierra y otros planetas tienen una edad de unos cuatro mil seiscientos millones de años. En cambio, la Luna es un poco más joven, tal y como explico en el siguiente apartado.

Ideas básicas sobre la Luna

La Luna tiene un diámetro de 3.476 kilómetros, algo más que una cuarta parte del diámetro de la Tierra. La Luna no tiene una atmósfera significativa, sino sólo trazas de átomos de hidrógeno, helio, neón y argón, junto a otros en cantidades menores. En su mayoría, o en su totalidad, está formada por roca sólida (consulta la figura 5-3); algunos expertos piensan que quizá tenga un pequeño núcleo de hierro fundido. Su masa es solamente 1/81 la masa de la Tierra, y su densidad es alrededor de 3,3 veces la densidad del agua, notablemente inferior a la densidad de la Tierra (5,5 veces la densidad del agua).

En los siguientes apartados obtendrás toda la información sobre las fases, los eclipses y la geología de la Luna (lo que incluye consejos prácticos para observar diversos rasgos lunares). También comparto una teoría sobre el origen de la Luna.



Cortesía de la NASA

Figura 5-3:

La Luna está formada por rocas y rimas, cráteres y llanuras de lava seca. No hay ni un gramo de queso a la vista

Prepárate para aullar: cómo identificar las fases lunares

Excepto durante un eclipse lunar (consulta el siguiente apartado), la mitad de la Luna recibe siempre luz solar y la otra mitad está a oscuras. Al contrario de lo que se suele creer, estos hemisferios de luz y oscuridad no se corresponden con la cara cercana y la cara oculta de la Luna. Dichas caras son los hemisferios que apuntan hacia la Tierra o en dirección opuesta, respectivamente, y siempre son los mismos. Las mitades lunares con luz solar o a oscuras son los hemisferios que miran hacia el Sol o en dirección opuesta. Y cambian a medida que la Luna se mueve alrededor de la Tierra (consulta la figura 5-4).

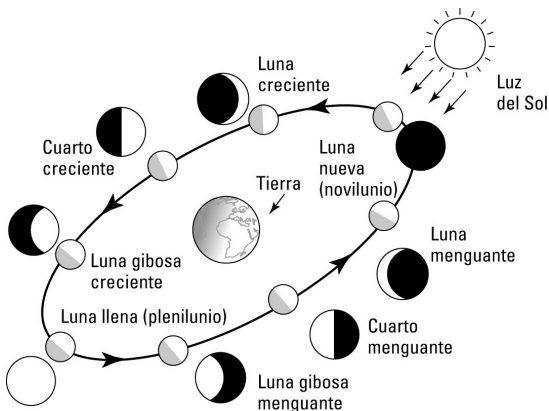


Figura 5-4:

Las fases de la Luna. ¡Nos vemos en el otro lado!

La *luna nueva* o *novilunio* es la fase en la que empieza el ciclo lunar mensual. En este momento, la cara cercana a la Tierra apunta en dirección opuesta al Sol, lo que la convierte en la cara oscura. Unas horas o días más tarde, la Luna está en *fase creciente*, lo que significa una luna creciente cuya zona brillante se hace mayor. En esta fase, la Luna se distancia de la línea Sol-Tierra mientras orbita alrededor de la Tierra. La mitad de la Luna siempre está iluminada, la que está frente al Sol, pero durante una luna creciente, no podemos ver la mayor parte de su zona iluminada que no mira hacia la Tierra.

A medida que la Luna se mueve alrededor de su órbita, llega a un punto en el que la línea Tierra-Luna está en ángulo recto con la línea Tierra-Sol. En esta etapa, vemos media luna, y es lo que los astrónomos denominan *cuarto creciente*.

¿Cómo puede una mitad equivaler a una cuarta parte? Si pides que te cambien billetes, una mitad y una cuarta parte de un billete no es lo mismo, pero, para un astrónomo, la mitad de la cara visible de la Luna (la que está frente a la Tierra) está iluminada, por eso la gente la llama *media luna*. En cambio, la parte iluminada de la Luna que vemos es sólo la mitad del hemisferio brillante que está cara al Sol, y la mitad de una mitad es un cuarto. Apuesta con tus amigos que un

cuarto puede ser una mitad. Ganarás, y puedes conseguir un dinerillo.

Cuando la parte iluminada de la Luna que podemos ver crece hasta superar un cuarto (la mitad), pero continúa siendo menor que la luna llena, los astrónomos la llaman *luna gibosa creciente*.

Cuando la Luna está en la parte más alejada de su órbita, opuesta al Sol, el hemisferio lunar frente a la Tierra está completamente iluminado, lo que crea una *luna llena*. A medida que la Luna sigue girando en su órbita, la parte iluminada se hace más pequeña y la Luna pasa a ser gibosa de nuevo, menos que la luna llena y más que un cuarto (*luna gibosa menguante*). Al cabo de poco tiempo, parece que veamos una cuarta parte de la Luna, lo que se conoce con el nombre de *cuarto menguante*. A medida que la Luna se acerca a la línea que hay entre la Tierra y el Sol, se convierte en una *luna menguante*. Al cabo de poco tiempo, volverá a ser una luna nueva y se iniciaran de nuevo las distintas fases del ciclo lunar.

El período de tiempo que transcurre entre una luna nueva y la siguiente se denomina *mes sinódico*, que tiene una duración media de 29 días, 12 horas y 44 minutos.

La gente suele preguntar por qué todos los meses no se produce un eclipse de Sol los días de luna nueva. La razón es que la Tierra, la Luna y el Sol normalmente no están alineados durante la luna nueva. Cuando todos se alinean durante la luna nueva, se produce un eclipse de Sol (consulta el capítulo 10). Cuando los tres cuerpos están alineados durante la luna llena, presenciamos un eclipse de Luna.

¡La Tierra también tiene fases! Sin embargo, para verlas, debes ir al espacio y mirar la Tierra desde la distancia. Cuando la gente de la Tierra ve una bonita luna llena, un observador que estuviera en la cara visible de la Luna disfrutaría de una “Tierra nueva”, y cuando los terrícolas vieran una luna nueva, los observadores de la Luna verían una “Tierra llena”.

Entre las sombras: observación de eclipses lunares

Se produce un eclipse lunar cuando la luna llena está exactamente en la línea que une el Sol y la Tierra. La Luna se encuentra entonces en la sombra de la Tierra, denominada *umbra*. Es seguro mirar un eclipse lunar, siempre que no te tropieces con algo en la oscuridad o que lo hagas mientras conduces.



Durante un eclipse total de Luna, aún puedes ver la Luna, a pesar

de que esté inmersa en la sombra de la Tierra (consulta la figura 5-5). No incide sobre ella ninguna luz solar directa, pero algo de luz del Sol se curva en los bordes de la atmósfera de la Tierra (tal y como se ve desde la Luna) y cae sobre la Luna. La luz solar se filtra al pasar a través de nuestra atmósfera, y llega sobre todo la luz roja y naranja. Este efecto *de luz terrestre* es distinto de un eclipse lunar al siguiente, en función de las condiciones meteorológicas y de las nubes de la atmósfera de la Tierra. Por lo tanto, la Luna totalmente eclipsada puede ser de un naranja apagado, de un rojo más apagado aún o de un rojo muy oscuro. A veces, apenas puede divisarse una Luna eclipsada.

Éstas son las fechas de los próximos eclipses lunares totales hasta el año 2025:

15 de abril de 2014

8 de octubre de 2014

4 de abril de 2015

28 de setiembre de 2015

31 de enero de 2018

27 de julio de 2018

21 de enero de 2019

26 de mayo de 2021

16 de mayo de 2022

8 de noviembre de 2022

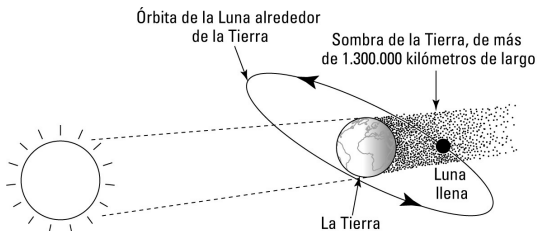
14 de marzo de 2025

7 de setiembre de 2025



Si quieres prepararte para los próximos eclipses, encontrarás mucha información sobre las horas y la parte de la Tierra en la que será visible el eclipse. Echa un vistazo a las revistas *Astronomy* o *Sky & Telescope* y a sus sitios web (www.astronomy.com y www.skyandtelescope.com) cuando se acerquen las fechas del eclipse.

Los eclipses totales de la Luna son tan comunes como los eclipses totales del Sol, pero se pueden ver más a menudo en cualquier lugar porque los de Sol sólo son visibles a lo largo de una banda estrecha de la Tierra denominada *franja de totalidad*. En cambio, cuando la sombra de la Tierra cae sobre la Luna, puedes ver la Luna eclipsada desde cualquier punto de la mitad de la Tierra, siempre y cuando sea de noche.



Dinah L. Moché/Astronomy: A Self-Teaching Guide, séptima edición

Figura 5-5:

Un eclipse total de Luna

Los eclipses parciales no son tan interesantes. Durante un *eclipse parcial*, sólo una parte de la luna llena cae dentro de la sombra de la Tierra. La Luna parece estar en una fase distinta. Si no sabes que se está produciendo un eclipse (o que estamos en fase de luna llena), no serás consciente de que es un fenómeno astronómico único. Quizá lo confundas con una luna en cuarto creciente o menguante. Pero, si sigues mirando durante una hora, puedes ver la luna llena salir de la sombra de la Tierra.

Roca dura: estudio de la geología lunar

La Luna está salpicada de cráteres de todos los tamaños, desde hoyos microscópicos hasta cuencas de cientos de kilómetros de diámetro. La mayor es la Cuenca Aitken, del polo sur lunar, de unos 2.600 kilómetros de ancho. Dichos cráteres fueron provocados por objetos (asteroides, meteoroides y cometas) que chocaron contra la Luna (hace mucho tiempo). Los cráteres microscópicos, que los científicos han encontrado en rocas recogidas por los astronautas en la superficie de la Luna, fueron provocados por micrometeoritos, diminutas partículas de roca que vuelan a través del espacio. Todos los cráteres y cuencas se conocen como *cráteres de impacto*, para distinguirlos de los cráteres volcánicos.

La Luna ha experimentado vulcanismo, pero éste adoptó una forma distinta al de la Tierra. La Luna no tiene *volcanes* ni grandes montañas volcánicas con cráteres en la parte superior. Sin embargo, sí que tiene pequeñas cúpulas volcánicas, es decir, montañas con cimas redondas como las que aparecen en

algunas zonas volcánicas de la Tierra. Además, los canales sinuosos de la superficie lunar (llamados *rimas*) parecen tubos de lava, un accidente geográfico común en las zonas volcánicas de la Tierra (como los tubos de lava del Monumento Nacional Lava Beds del norte de California). Además, la Luna tiene enormes llanuras de lava que llenan los fondos de las grandes cuencas de impacto. Estas llanuras de lava se denominan *maria*, que en latín quiere decir 'mares' (cuando miras hacia arriba y ves la Cara de la Luna, las zonas oscuras que forman algunos de sus rasgos son los mares).

En el pasado, hubo científicos que pensaban que los mares lunares podían ser océanos. Pero, de serlo, podríamos ver reflejos brillantes del Sol en ellos, igual que cuando miramos el mar desde un avión de día. Las zonas más grandes y brillantes de la Cara de la Luna son los altiplanos lunares, zonas con abundantes cráteres. Los mares lunares también tienen cráteres, pero hay menos por kilómetro cuadrado que en los altiplanos, lo que significa que los mares lunares son más jóvenes. Las cuencas en las que se sitúan los mares lunares fueron creadas por impactos enormes. Dichos impactos arrasaron los cráteres existentes. Más tarde, las cuencas se llenaron de lava desde abajo, barriendo cualquier cráter nuevo que se hubiera formado después de los enormes impactos. Todos los cráteres que ahora puedes ver en los mares lunares proceden de impactos que tuvieron lugar después de la congelación de la lava.

¿Hielo lunar? ¡Genial!

El llamado suelo lunar, formado por polvo de roca fino, cubre la superficie de la Luna. Procede de innumerables impactos de meteoroides y asteroides que han chocado contra ella durante mucho tiempo, formando cráteres y pulverizando roca. En muchos casos, las moléculas congeladas de agua están adheridas a las partículas de polvo, sobre todo en los fondos de los cráteres cercanos a los polos de la Luna. En las inmediaciones de esos cráteres, el Sol nunca está alto en el cielo y los fondos de los cráteres quedan bajo las sombras de las paredes. Estas zonas son los lugares más fríos de la Luna. Al menos en un cráter del polo sur la temperatura llega a $-240\text{ }^{\circ}\text{C}$. Espero que no intentes recoger un poco de polvo lunar para prepararte un refrescante vaso de agua lunar helada. Ese polvo, además de moléculas de agua, contiene átomos de plata y mercurio, y no querrás que se deslicen por tu garganta.

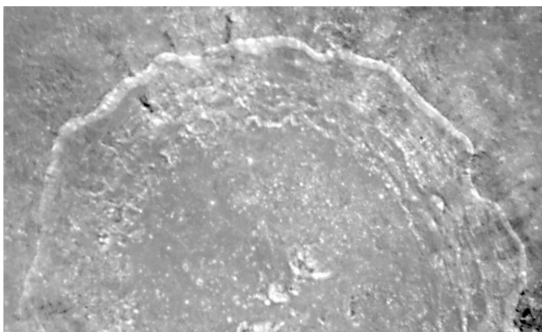
¿Listo para observar la cara visible y conocer mejor la cara oculta de la Luna? Lee los siguientes apartados.

Observa la cara visible de la Luna

La Luna es uno de los objetos más agradecidos de observar. La puedes ver cuando hay niebla o el cielo está parcialmente nublado y a veces es visible

durante el día. Puedes ver cráteres incluso con los telescopios más pequeños. Con un telescopio pequeño de alta calidad, disfrutarás de cientos, quizá miles, de rasgos lunares, como cráteres de impacto, mares, altiplanos, rimas y otros, entre los que se incluyen los siguientes:

- ✓ **Picos centrales:** Montañas de escombros expelidos en el “rebote” de la superficie lunar por los efectos de un potente impacto. En algunos cráteres de impacto hay picos centrales, pero no en todos.
- ✓ **Montañas lunares:** Las orillas de los grandes cráteres o cuencas de impacto, que en parte pueden haber sido destruidos por impactos posteriores, han dejado parte de sus paredes en forma de cadenas montañosas, aunque no como las montañas que se ven en la Tierra.
- ✓ **Rayos:** Líneas brillantes formadas por escombros polvorientos expulsados a raíz de algunos impactos. Se extienden radialmente hacia fuera a partir de jóvenes y brillantes cráteres de impacto, como Tycho y Copérnico (consulta la figura 5-6).



Cortesía de John Caldwell (York University, Ontario), Alex Storrs (STSci) y la NASA

Figura 5-6:

Primer plano del cráter lunar Copérnico desde el telescopio espacial *Hubble*



Si quieres distinguir un cráter, rima o cadena montañosa de la Luna cuando miras por el telescopio, necesitas un mapa de la Luna o un juego de cartas lunares. Son económicos y pueden comprarse en tiendas de material de astronomía y otras aficiones científicas y, a veces, en tiendas de mapas. Aquí tienes dos establecimientos en internet donde encontrarás este tipo de mapas:

- ✓ Orion Telescopes & Binoculars (www.telescope.com) vende mapas y guías útiles para observar la Luna.
- ✓ La web www.skyandtelescope.com ofrece mapas de la Luna dibujados por el cartógrafo lunar Antonin Rühl.

Recuerda, estos mapas y cartas sólo muestran una cara de la Luna: la cara visible. No necesitas un mapa de la cara oculta de la Luna porque no puedes verla desde la Tierra.



Para prácticamente cualquier cosa que quieras ver en la Luna, el mejor momento de observación es cuando el objeto está cerca del *terminador*, la línea divisoria entre el brillo y la oscuridad. Los detalles de los accidentes geográficos lunares se evidencian cuando están en el lado brillante del terminador.

Durante un mes, que es casi el período de tiempo que transcurre entre una luna llena a la siguiente, el terminador se mueve sistemáticamente a través de la cara visible de la Luna de forma que, en algún momento, todo lo que puedes ver en la Luna está cerca de él. En función del momento del mes, el terminador corresponde o bien al lugar de la Luna en el que sale el Sol o bien al lugar en el que se pone el Sol. Como sabes por experiencia en la Tierra, las sombras se extienden más lejos durante el amanecer o la puesta de sol y se contraen progresivamente a medida que el Sol se va elevando en el cielo. Cuando el Sol está a una altitud conocida, la longitud de la sombra está relacionada con la altura del accidente lunar que la proyecta. Cuanto más larga sea la sombra, más alto es el accidente geográfico.

Dibuja la Luna

Puedes ver la Luna o fotografiarla, y disfrutar de la observación de mares, cráteres y otros accidentes topográficos marcados en tu mapa lunar. Pero algunos aficionados a la astronomía tienen una afición distinta: hacen dibujos de accidentes lunares vistos a través de sus telescopios. Si tienes inquietudes artísticas, dibujar accidentes geográficos lunares puede ser una afición astronómica ideal para ti. La Luna es el único objeto celeste en el que puedes divisar fácilmente el relieve de la superficie. Puedes hacer dibujos tridimensionales del paisaje lunar, igual que puedes dibujar las vistas desde tu casa. No puedes hacerlo con ningún otro cuerpo a menos que trabajes a partir de una fotografía en primer plano tomada desde una sonda espacial, no a partir de tus propias observaciones. *Sketching the Moon: An Astronomical Artist's Guide*, de Richard Handy, Deidre Kelleghan, Thomas McCague, Erika Rix y Sally Russell, es una guía maravillosa. Ofrece ejemplos ilustrados e instrucciones paso a paso para hacer tus propios dibujos telescópicos de la Luna teniendo en cuenta la interacción entre luz y sombra en la austera superficie lunar.

Siente simpatía por la luz cenicienta

Cuando observes la Luna, puede que notes que la parte de la cara oscura del terminador no siempre es negra como el carbón. Quizá veas un brillo tenue aunque allí el Sol no esté brillando. Este resplandor es la luz cenicienta, que no es más que la luz solar que se refleja en la Tierra, que en este caso actúa como un espejo, e incide en la superficie lunar, que a su vez proyecta un brillo tenue. Puedes ver la luz cenicienta con más facilidad cuando hay luna creciente, y nunca la verás con luna llena.



El peor momento para observar la Luna es durante la luna llena. En ese momento, el Sol está alto en el cielo en la mayor parte de la cara visible de la Luna, por lo tanto, las sombras son escasas y cortas. La presencia de sombras formadas por accidentes geográficos de la Luna te ayuda a comprender el *relieve de la superficie*, es decir, la forma en la que los accidentes geográficos se extienden por encima o por debajo de lo que les rodea.

Pásate al lado oscuro

No necesitas un mapa de la cara oculta para observar la Luna porque no

puedes ver esa cara. Nuestra visión es limitada porque la Luna está en *rotación sincrónica*, lo que significa que hace exactamente un giro sobre su eje cuando orbita una vez alrededor de la Tierra (el periodo orbital de la Luna es de unos 27 días, 7 horas y 43 minutos). Por lo tanto, la Luna siempre tiene el mismo hemisferio de cara a la Tierra.

Las tiendas de material de astronomía y ciencia venden globos lunares que representan los accidentes geográficos de toda la Luna, es decir, de la cara oculta y la visible. El programa espacial soviético fue el primero que fotografió la cara oculta de la Luna, haciendo fotos con una nave espacial robótica al principio de la era espacial. Desde entonces, muchas naves espaciales, entre las que se incluyen *Lunar Orbiters*, *Clementine* y *Lunar Reconnaissance Orbiter*, han trazado un mapa exhaustivo de la Luna.

Vamos a los extremos lunares: tráete crema solar, oxígeno y un anorak

Cuando el Sol está alto, la temperatura en la superficie lunar aumenta hasta los 117°C; en cambio, por la noche, baja hasta unos -169°C. Estos cambios de temperatura extremos se deben a la ausencia de cualquier atmósfera significativa para aislar la superficie y reducir la cantidad de calor que se pierde por la noche. La Luna no tiene agua líquida. La superficie está demasiado caliente, demasiado fría y demasiado seca para mantener la vida tal como la conocemos. Y no hay aire que respirar.

Sé un científico lunar

Puedes estudiar la Luna sin tener telescopio y desde la comodidad de tu propio hogar. Basta con que visites la web <http://cosmoquest.org/mappers/moon/>, hagas clic en *Simply Craters* y sigas sus instrucciones. Aprenderás a identificar cráteres pequeños de la Luna en fotografías del *Lunar Reconnaissance Orbiter* de la NASA.

Un gran impacto: una teoría sobre el origen de la Luna

Los científicos saben mucho sobre las edades de las rocas en distintos terrenos y partes de la Luna. Obtuvieron los datos con datación radiactiva de muestras de los cientos de kilos de rocas lunares que las seis tripulaciones de astronautas del proyecto Apollo de la NASA (que aterrizaron en la Luna en distintos momentos entre 1969 y 1972) trajeron a la Tierra.

Antes de las misiones lunares Apollo, varios expertos predijeron convencidos que la Luna sería la piedra Rosetta del Sistema Solar. Sin agua líquida que erosione la superficie, atmósfera digna de mención ni vulcanismo activo sobre la Luna, pensaron que la superficie debía incluir mucho material primordial del nacimiento de la Luna y los planetas. Pero las muestras lunares del Apollo lanzaron piedras sobre su teoría.

Cuando una roca se derrite, se enfría y se cristaliza, todos sus relojes radiactivos se reinician. Los isótopos radiactivos empiezan a producir nuevos isótopos hijo que quedan atrapados en los cristales minerales recientemente formados. Las rocas del Apollo muestran que toda la Luna (o, como mínimo, su corteza hasta una profundidad considerable) se derritió hace 4.600 millones de años. Las rocas de la superficie más viejas de la Luna tienen "sólo" 4.500 millones de años. La diferencia entre 4.600 y 4.500 millones de años es 100 millones de años. Al contrario de lo que sucede con los minerales de las rocas terrestres, que contienen agua en las estructuras minerales, las rocas de la Luna están prácticamente secas.

La teoría sobre el origen de la Luna que ha aparecido para explicar todas estas pruebas, y para evitar las objeciones que han presentado los científicos contra teorías anteriores, es la *teoría del impacto gigante*. Según esta teoría, la Luna está formada por material procedente del manto de la Tierra, que se desprendió cuando un objeto enorme (de hasta tres veces la masa de Marte) chocó de refilón contra la joven Tierra al pasar. Según esa teoría, parte de las rocas del manto de aquel objeto ya desaparecido que impactó también se incorporaron a la Luna.

El impacto gigante sobre la joven Tierra arrojó todo este material al espacio en forma de vapor de roca caliente. Condensó y se solidificó como copos de nieve. Los copos de nieve chocaron entre sí y se unieron, y, en un abrir y cerrar de ojos, se había formado la Luna. Se unió en los potentes impactos de los últimos grandes trozos de roca, gracias a que el calor de cada impacto fundía la roca.

Todos los impactos que causaron los cráteres que ahora vemos en la Luna se produjeron más tarde, y la mayoría se remonta a más de tres mil millones de años.

Según esta teoría, la Luna es menos densa que la Tierra y más o menos igual de densa que el manto de la Tierra (la capa que está debajo de la corteza y encima del núcleo) porque se formó con material del manto. (La densidad es una medida de la cantidad de masa que hay en un volumen determinado. Si tienes dos balas de cañón del mismo tamaño y forma, tienen el mismo volumen. En cambio, si una bala es de plomo y la otra de madera, la de plomo es más pesada y tiene una densidad mayor.) Esta teoría predice que la Luna no debería tener un núcleo de hierro, si es que tiene alguno. Y un núcleo pequeño de un objeto pequeño (es decir, la Luna) debería haberse enfriado y congelado hace tiempo si

en algún momento contuvo hierro líquido. De todas formas, otros investigadores sospechan que la Luna tiene un núcleo de hierro y que puede estar fundido. La misión GRAIL, formada por las dos naves espaciales gemelas de la NASA, la del Laboratorio Interior y la de Recuperación de Gravedad, lanzada en el año 2011, desentrañará este misterio.

En la actualidad, la teoría del impacto gigante es nuestra mejor aproximación. Por desgracia, en este momento, no podemos probarla. Por ejemplo, la teoría no predice ningún tipo especial de roca que podamos buscar entre los cientos de kilos de rocas lunares que recogieron los astronautas del Apollo. Algunos astrónomos sospechan que las rocas del mayor cráter de la Luna fueron expelidas desde una gran profundidad por el asteroide que colisionó y formó el cráter. Esas rocas, en la cuenca Aitken del polo sur lunar, pueden proceder de debajo de la capa superficial que se fundió después de la formación de la Luna. En tal caso, los estudios de esas rocas indicarían a los científicos si la teoría del impacto gigante es acertada. La cuenca Aitken del polo sur es el cráter más grande de la Luna (y de cualquier otro punto del Sistema Solar) y es objeto de grandes desilusiones. Algunos expertos piensan que las rocas de allí no proceden de una profundidad suficiente como para poder probar la teoría. Peor aún, los planes para explorar la cuenca con astronautas o naves espaciales robóticas están parados hasta que la NASA trace un nuevo programa lunar.

Si los científicos verifican la teoría del impacto gigante, tendrá un enorme efecto en la ciencia, pero ve con calma, esto podría durar muchas lunas.

Espero que te guste mi descripción de la Luna y que no te haya decepcionado que esté alejándose. La Luna se está separando lentamente de la Tierra mientras sigue orbitando a su alrededor. Todos los años, la Luna retrocede unos 3,8 centímetros y el tiempo que tarda en dibujar una órbita alrededor de Tierra es ligeramente mayor.

Capítulo 6

Los vecinos de la Tierra: Mercurio, Venus y Marte

En este capítulo

- ▶ Mercurio, el planeta más cercano al Sol
 - ▶ Venus, caliente y sofocante con lluvia ácida
 - ▶ Descubre Marte, el planeta en el que buscamos agua y vida
 - ▶ Comprende qué distingue a la Tierra
 - ▶ Encuentra y observa nuestros planetas vecinos
-

Puedes ver los planetas terrestres (o rocosos) vecinos de la Tierra como Mercurio, Venus y Marte a simple vista y estudiarlos con tu telescopio. Sin embargo, ellos te atormentan revelando solamente un poco de su naturaleza a través de esas observaciones. La mayor parte de lo que saben los científicos sobre sus historias, formas geológicas y propiedades físicas se basa en imágenes y datos de medición que envían las naves espaciales interplanetarias a la Tierra.

Dos naves espaciales de la NASA han visitado Mercurio. Una lo sobrevoló tres veces y describió una órbita alrededor del planeta. Varias sondas han visitado, orbitado e incluso aterrizado en Venus. Marte ha sido objeto de numerosas sondas, vehículos de aterrizaje y exploradores robóticos. Algunos han orbitado alrededor de Marte, otros han aterrizado allí, y los hay que, por desgracia, se han estrellado o no han llegado al planeta.

En este capítulo te ofrezco detalles fascinantes (y prácticos consejos de observación) de los vecinos del Sistema Solar que están más cerca de la Tierra.

Mercurio: raro, caliente, y casi todo de metal

Los astrónomos creen que Mercurio es raro. En su mayor parte no está

formado por roca, como la Tierra (igual que la Luna, Marte y Venus), sino que es casi todo de metal, una gran bola de hierro con una fina piel de roca. En la Tierra, el núcleo de hierro (consulta el capítulo 5) se extiende justo por encima del centro hasta la superficie. En cambio, en Mercurio, el núcleo metálico se extiende por el 85 % en dirección a la superficie, y está todo o casi todo fundido. Mercurio también tiene una capa diferente del resto de las capas de cualquier otro planeta: una zona de azufre y hierro sólido entre el núcleo de hierro y la superficie rocosa.

Es fácil ver lo excepcional que es Mercurio en su superficie. Tiene muchos cráteres de impacto, igual que la Luna (consulta el capítulo 5), pero muchos de los cráteres de Mercurio están inclinados, como si el suelo se hubiera movido después de su formación. El cráter más grande de Mercurio, la Cuenca de Caloris (de más de 1.500 kilómetros de ancho) también es raro: gran parte del fondo del cráter está elevado por encima del borde. ¡Imagínate cómo llegó a ocurrir!



La mayor parte de lo que sabemos sobre Mercurio procede de la sonda *Messenger* de la NASA, que aún orbita alrededor del planeta, y de la *Mariner 10*, que voló hacia Venus en 1974 y visitó Mercurio tres veces entre 1974 y 1975. Puedes ver imágenes de la *Messenger*, las últimas novedades sobre los descubrimientos de Mercurio y mantenerte al día del avance de la misión en la web de la Universidad Johns Hopkins (<http://messenger.jhuapl.edu>). También puedes ver imágenes de la *Mariner 10* en la web de la Arizona State University (http://ser.sese.asu.edu/M10/IMAGE_ARCHIVE/Mercury_sea). Consulta la galería de imágenes de nuestra página web para ver una imagen de Mercurio.

Aquí tienes algunos otros datos clave sobre Mercurio:

- ✓ Mercurio tiene largas y serpenteantes cadenas montañosas que cortan cráteres de impacto y otros accidentes geológicos. Dichas cadenas probablemente fueron causadas por la contracción de la corteza, que se estaba enfriando después de haber estado fundida.
- ✓ Mercurio tiene menor cantidad de cráteres pequeños que la Luna, en proporción al número de cráteres grandes.
- ✓ Existen zonas montañosas con un gran número de cráteres, igual que

sucede en la Luna (Mercurio no tiene luna propia conocida). Pero, a diferencia de la Luna, las zonas montañosas de Mercurio están interrumpidas por suaves llanuras.

- ✓ En las antípodas de la Cuenca de Caloris, en el lado opuesto de Mercurio, hay una zona de terreno accidentado. La colisión que causó Caloris debe de haber generado potentes ondas sísmicas que viajaron a través del interior de Mercurio y por toda su superficie, convergiendo en las antípodas con un efecto catastrófico.
- ✓ Mercurio tiene un campo magnético global, generado por una dinamo natural en su núcleo de hierro fundido, de forma muy parecida a la Tierra, excepto por el hecho de que el campo magnético de la Tierra es mucho más fuerte (Marte, Venus y la Luna carecen de campo magnético global).
- ✓ Mercurio tiene enormes oscilaciones de temperatura, desde máximas de 465 °C durante el día a mínimas de -184 °C por la noche.

La química de Mercurio es excepcional, ya que muchos de los elementos volátiles (que se evaporan fácilmente) como potasio, sodio y azufre, se encuentran en su superficie. Ese descubrimiento supone un desafío para los astrónomos que intentan explicar cómo Mercurio llegó a estar casi totalmente compuesto por hierro. Las teorías anteriores defendían que, en el pasado, Mercurio tuvo una mayor proporción de roca que ahora. De ser así, se habría parecido más a la Tierra y la Luna. Las teorías proponían varias formas en las que se podría haber destruido gran parte de la roca exterior original de Mercurio, pero cualquier fuerza tan potente habría evaporado el potasio, sodio y azufre que ahora domina la superficie de Mercurio.

Cuanto más sabemos los astrónomos sobre Mercurio, más nos desconcierta.

Seco, ácido y montañoso: mantente alejado de Venus

Venus nunca tiene un día claro; del ecuador a los polos este planeta siempre está cubierto por una capa de nubes de 15 kilómetros de grosor compuestas por ácido sulfúrico concentrado. Y su superficie tampoco se libra del calor: Venus es el planeta más caliente del Sistema Solar, con una temperatura en su superficie de 465,5 °C, que es prácticamente la misma desde el ecuador al polo, día y noche.

Y si el calor parece malo, aún es peor la presión barométrica, de unas noventa y tres veces la presión a nivel del mar en la Tierra. Pero olvídate de los

mares; no encontrarás agua en Venus. Puedes quejarte del calor, pero no de la humedad. Es un calor seco, como el de Arizona.

La mala noticia sobre el tiempo de Venus es que hay una lluvia perpetua de ácido sulfúrico en todo el planeta. La buena noticia es que esta lluvia es *virga*, lo que significa que se evapora antes de llegar al suelo.

La alta temperatura de Venus se debe a un caso extremo de *efecto invernadero*. En pocas palabras, la atmósfera densa (más de un 95 % de dióxido de carbono, sin oxígeno) y las nubes dejan pasar la mayor parte de la luz solar que cae en Venus, que calienta la superficie y el aire cerca del suelo. La superficie caliente y el aire liberan calor, que adopta la forma de rayos infrarrojos. En la Tierra, gran parte de esa radiación infrarroja se escapa al espacio y enfría el suelo por la noche. En cambio, en Venus, la atmósfera de dióxido de carbono atrapa los rayos infrarrojos, por lo que la temperatura del planeta es extremadamente caliente.

Prácticamente todas las excelentes imágenes de la superficie de Venus que puedes encontrar en la página web de la NASA y en otras realmente no son fotografías. Lo que ves son mapas de radar detallados, sobre todo de la nave espacial *Magellan* de la NASA. Las nubes del planeta bloquean la visión de los telescopios desde la Tierra y de cualquier cámara en un satélite que orbite Venus. La parte superior de las nubes está a una altitud de 65 kilómetros, mucho más bajas que el punto en el que puede operar un satélite.



Las pocas imágenes que tenemos de vehículos que han aterrizado en Venus, lanzados por la antigua Unión Soviética, muestran zonas de placas de roca planas separadas por pequeñas cantidades de tierra. Las placas parecen zonas de flujos de lava basáltica endurecidos como los que encontramos en la Tierra. En cambio, en Venus, la superficie parece naranja porque está cubierta por densas nubes que filtran la luz solar. Puedes ver los mapas de radares por satélite de Venus, imágenes de los vehículos de aterrizaje de la superficie y más datos en el apartado *Views* del sitio web Solar System: www.solarviews.com/eng/venus.htm (también puedes ver una imagen de Venus en la página web www.para.dummies.es).

Prácticamente todo Venus (alrededor del 85 %) está cubierto por llanuras, tierras bajas volcánicas con *rimas* (cañones serpenteantes que dejan los flujos de lava). Este territorio incluye la rima más larga conocida en el Sistema Solar, Baltis Vallis, que se extiende en Venus a lo largo de unos 6.800 kilómetros. También encontramos zonas más elevadas con cráteres y mesetas deformadas.

En Venus no hay tantos cráteres como cabría esperar, si tenemos en cuenta los que vemos en la Luna y en Mercurio (Venus no tiene lunas conocidas). No hay cráteres pequeños ni muchos cráteres grandes porque la superficie de Venus fue inundada por lava o modificada por vulcanismo (la erupción de roca fundida desde el interior de un planeta) después de que los impactos de objetos exteriores prácticamente hubieran finalizado. Esta inundación o modificación eliminó todos o casi todos los primeros cráteres. Pocos objetos grandes han chocado con Venus desde que se destruyeron los primeros cráteres, y los objetos pequeños no provocan muchos cráteres en Venus porque las fuerzas aerodinámicas de su densa atmósfera suponen un obstáculo para ellos y destruyen aquellos que podrían formar cráteres de hasta 3 kilómetros de diámetro.

La superficie de Venus está cubierta por enormes volcanes y cadenas montañosas, pero nada que se parezca a las montañas no volcánicas de la Tierra (como las Montañas Rocosas del oeste de Estados Unidos, los Pirineos, en la península Ibérica, o el Himalaya, en Asia), que fueron provocadas por una placa de la corteza que empujaba a otra. Y Venus no tiene cadenas de volcanes (como el Anillo de Fuego del Pacífico) que se levanten en los extremos de las placas. A diferencia de lo que ocurre en la Tierra, en Venus no existe tectónica de placas ni deriva continental.

Venus parece distinto a la Tierra en la superficie, pero mantiene un parecido interesante en el subsuelo. *Venus Express*, una sonda enviada por la Agencia Espacial Europea, detectó “puntos calientes”, es decir, zonas de Venus que son notablemente más cálidas que lo que lo rodea. Los astrónomos creen que los puntos calientes son lugares en los que las plumas de magma caliente ascienden desde las profundidades. La Tierra tiene algo parecido, llamado plumas del manto, en zonas en las que hay volcanes activos que no están cerca de los extremos de las placas tectónicas (por ejemplo, en Hawái). (Si deseas obtener más información sobre placas tectónicas, consulta el capítulo 5.)

Rujo, frío y árido: descubre los misterios de Marte

Los científicos han trazado un mapa de la superficie de Marte y han medido la altitud de montañas, cañones y otros accidentes geográficos con mucha precisión. Puedes encontrar el mapa del planeta elaborado por National Geographic en la web de la NASA (<http://tharsis.gsfc.nasa.gov/ngs.html>). Este mapa se basa en datos de dos instrumentos a bordo del Mars Global Surveyor (MGS), un satélite que operó en órbita alrededor de Marte de 1997 a 2006. Un instrumento, un altímetro láser, hacía rebotar pulsos de luz sobre la superficie de Marte para medir las altitudes de los accidentes geográficos que reflejaban la luz. El otro

instrumento, una cámara, fotografiaba los accidentes geográficos.

Mientras operaba el satélite MGS, otra nave de la NASA, *Mars Odyssey*, llegó y empezó a orbitar alrededor del planeta en octubre de 2001. Puedes ver sus descubrimientos en <http://mars.jpl.nasa.gov/odyssey>.



La Agencia Espacial Europea no acapara tanta atención como la NASA, por eso quizá no sepas que los europeos tienen un satélite, la *Mars Express*, que empezó a orbitar alrededor del planeta rojo el 25 de diciembre de 2003. Encontrarás espléndidas imágenes de esta nave espacial en www.esa.int/SPECIALS/Mars_Express.

Aunque los científicos hayan trazado un mapa preciso de Marte con satélites y hayan explorado partes de su superficie con sondas de aterrizaje y vehículos robotizados exploradores, el planeta todavía encierra muchos misterios que quieren descubrir. En los siguientes apartados comento varias teorías sobre el agua y la vida en Marte (si quieres saber más sobre Marte, no te olvides de ver su imagen en nuestra página web: www.para.dummies.es).

¿Dónde ha ido a parar toda el agua?

El mapa topográfico de Marte muestra que la mayor parte del hemisferio norte tiene menor altitud que el hemisferio sur. Algunos astrónomos creen que esta árida zona norteña, limitada por accidentes geográficos que parecen una antigua línea costera, hace tiempo fue un océano. Los científicos utilizaron un radar montado en la *Mars Express* que penetraba el suelo para observar por debajo de la posible zona de la línea costera. En 2012 informaron de que la capa subsuperficial parecía estar compuesta por *sedimentos* (es decir, rocas rotas, tierra y/o arena que se queda en el fondo de una masa de agua). El sedimento (si es eso) fue supuestamente depositado en la antigua zona sospechosa. Algunos expertos todavía no están convencidos de que Marte tuviera un océano, pero yo sí lo creo.

Las tierras bajas del norte pueden ser o no el lugar en el que antiguamente hubo un océano, pero aunque no lo fueran, otras pruebas sugieren que el agua líquida fue común en el pasado en Marte:

- ✓ Marte es frío y seco ahora, pero hay mucho hielo en sus polos. Según una estimación, hay hielo suficiente como para inundar todo el planeta

hasta una altura de 30,48 metros si se derritiera (el hielo polar no se derretirá porque Marte está demasiado frío).

- ✓ Algunos cañones de Marte parecen haber sido esculpidos por una gran inundación producida hace mucho tiempo.
- ✓ La nave *Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)* fotografió muchos accidentes geográficos con forma de líneas estrechas que descienden por pendientes pronunciadas. Se oscurecen durante el verano marciano y se apagan cuando se enfría el tiempo. Pueden estar causados por agua salada en la capa superficial que se funde y sólo fluye cuando Marte está lo suficientemente caliente. (El agua salada permanece líquida a temperaturas más bajas que el agua dulce, por eso el agua salada puede fluir en Marte cuando el agua dulce sería hielo sólido.)
- ✓ El suelo de muchas partes de Marte contiene sustancias que se forman por la influencia del agua, lo que incluye los minerales que aparecen en los lodos.
- ✓ El planeta tiene características que parecen lechos de río, con piedras e islas que, aparentemente, fueron redondeadas por un torrente. Estas piedras fueron captadas por la sonda y vehículo de aterrizaje *Mars Pathfinder* y su pequeño robot, *Sojourner*.
- ✓ *Mars Odyssey*, a partir de datos tomados en órbita, encontró indicios de grandes cantidades de agua, presumiblemente congeladas, justo por debajo de la superficie en amplias zonas de Marte.

La atmósfera de Marte está compuesta en su mayoría por dióxido de carbono (como la atmósfera de Venus), pero la atmósfera marciana es mucho más tenue que las atmósferas de la Tierra o de Venus. Marte también tiene nubes de cristales de hielo de agua, que se parecen a los cirros de la Tierra. En invierno, parte del dióxido de carbono de la atmósfera de Marte se congela en la superficie y deja finos depósitos de hielo seco. En el polo en el que todavía es invierno, una fina capa de hielo seco suele cubrir la permanente capa de agua helada. Si Marte tuvo un océano en el pasado, el planeta debió de ser mucho más cálido de lo que es hoy en día. Si la atmósfera de dióxido de carbono fue mucho más densa entonces, habría atrapado calor, como en el efecto invernadero de Venus que he descrito en este capítulo. Si Marte tuvo alguna vez una atmósfera cálida y un océano, entonces, el dióxido de carbono de la atmósfera se habría disuelto en el agua. Las reacciones químicas habrían producido carbonatos (minerales

compuestos por carbón y oxígeno). Esta teoría predice que hay rocas carbonatadas en Marte. ¡El *Mars Exploration Rover, Spirit*, de la NASA, descubrió rocas carbonatadas en 2010!

Los expertos en Marte tienen opiniones contradictorias, pero creo que el caso está cerrado: una vez Marte tuvo un clima cálido y mucha agua líquida.

Actualmente, en la zona del ecuador marciano hace un calor delicioso durante el día, cuando las temperaturas del mediodía pueden llegar a unos agradables 16,6 °C. Sin embargo, no te quedes de noche, ya que pueden bajar hasta -133,3 °C tras la puesta de Sol. Las estaciones de Marte también son distintas a las de la Tierra. Tal y como explico en el capítulo 5, las estaciones de la Tierra están provocadas por la inclinación del eje de la Tierra en relación con el plano de la órbita de la Tierra alrededor del Sol, *no* por los cambios de la distancia de la Tierra respecto al Sol (que son insignificantes). En Marte, tanto la inclinación del eje del planeta como los importantes cambios de su distancia respecto al Sol de un lugar de su órbita a otro (porque la órbita de Marte es más elíptica que la órbita casi circular de la Tierra) se combinan para producir estaciones “no terrestres”. El verano en el hemisferio sur de Marte es más corto y más cálido que el verano en su hemisferio norte, y el invierno en el hemisferio norte marciano es más corto y más cálido que el invierno en el hemisferio sur.



Un magnetómetro en MGS descubrió largas franjas paralelas de campos magnéticos de sentido opuesto congeladas en la corteza rocosa de Marte. Hoy en día, el planeta no tiene campo magnético global, pero este descubrimiento puede significar que una vez tuvo un campo global que se revertía periódicamente, igual que el campo de la Tierra (consulta el capítulo 5). También puede significar que Marte experimentó un proceso en la corteza semejante a la extensión del fondo marino en la Tierra y que produjo un patrón similar. Sin embargo, el núcleo de hierro fundido de Marte debió de congelarse y solidificarse hace tiempo, por tanto, ya no se genera un campo magnético, y el flujo de calor del interior hacia la superficie es tan bajo que probablemente ya no haya vulcanismo en marcha.

El vulcanismo que sí que se dio en Marte produjo volcanes inmensos, como el Monte Olimpo, de unos 600 kilómetros de ancho y 24 kilómetros de alto, o cinco veces más ancho y casi tres veces más alto que el mayor volcán de la Tierra, Mauna Loa. Marte también tiene muchos cañones, como el inmenso conjunto llamado Valles Marineris (Valle del Marinero), que mide 4.000 kilómetros de largo. Asimismo, la superficie está salpicada por cráteres de impacto. Los cráteres están más erosionados que los de la Luna porque se ha producido mucho más desgaste, probablemente causado por agua que circuló en grandes flujos en

Marte (un tema controvertido en astronomía hasta la fecha).

¿Hay vida en Marte?

Corren muchas ideas erróneas sobre Marte. Algunas de las teorías puede que en realidad sean correctas, pero no han sido demostradas. Todas estas ideas giran en torno a la posibilidad de la vida en Marte. En su mayoría, son tan improbables como la historia de un astronauta del futuro que vuelve a la Tierra después de viajar a Marte y, cuando los periodistas le preguntan: “Bueno, ¿hay vida en Marte?”, responde “Durante la semana no mucha, pero la cosa se anima el sábado por la noche...”

La posibilidad de vida

El descubrimiento de los “canales” de Marte generó la primera especulación generalizada sobre la posibilidad de vida. Algunos de los astrónomos más famosos de finales del siglo XIX y principios del XX estaban entre los que afirmaban que había canales. En aquel momento la fotografía planetaria no era muy útil, porque las exposiciones eran bastante largas y el *seeing* atmosférico (que defino en el capítulo 3) hacía que las imágenes fueran borrosas. Por eso, los científicos creían que los dibujos realizados por observadores expertos en la observación con telescopios profesionales eran las imágenes más precisas de Marte. Algunos de estos mapas mostraban patrones de líneas que se extendían y entrecruzaban en la superficie de Marte. Percival Lowell, un astrónomo estadounidense, propuso la teoría de que las líneas rectas eran canales que había creado una antigua civilización para conservar y transportar agua mientras Marte se secaba. Llegó a la conclusión de que los lugares en los que se cruzaban las líneas eran oasis.

Con los años la idea de los “canales” y otras indicaciones de vida pasada o presente en Marte se desechó:

- ✓ Cuando la nave espacial estadounidense *Mariner 4* llegó a Marte en 1965, sus fotografías no mostraban canales, una conclusión verificada con mayor detalle por imágenes de otras sondas a Marte. *Strike* uno.
- ✓ Dos sondas posteriores, las *Viking*, realizaron experimentos químicos robóticos en Marte para buscar pruebas de procesos biológicos, como fotosíntesis o respiración. Al principio, parecían haber encontrado pruebas de actividad biológica cuando se añadió agua a una muestra del suelo. Sin embargo, la mayoría de los científicos que revisaron el

asunto llegaron a la conclusión de que el agua estaba reaccionando químicamente con el suelo en un proceso natural que no implica la presencia de vida. *Strike* dos.

- ✓ Los vehículos orbitales *Viking* también enviaron imágenes de la superficie de Marte mientras giraban alrededor de ese planeta. En un punto concreto, las imágenes mostraban una formación de la corteza que, según algunos, parecía una cara. A pesar de que muchos picos de montañas y formaciones de piedra naturales de la Tierra se parecen a los perfiles de famosos presidentes, jefes de tribus de nativos americanos y otras personas cuyo nombre luego pasa a designarlos, algunos creyentes fervientes afirmaron que “la cara de Marte” era un monumento de algún tipo, levantado por una civilización avanzada. Posteriormente, las imágenes más nítidas del *Mars Global Surveyor* mostraron que ese accidente geográfico no parecía para nada una cara. *Strike* tres para los defensores de la vida en Marte. Eliminado.

Sin embargo, a pesar de los tres *strikes*, la idea de la vida no se descartó completamente. En 2003, los astrónomos empezaron a encontrar trazas de metano (a veces conocido como “el gas de los pantanos”) en Marte. El metano se descompone rápidamente en otras sustancias en las condiciones de Marte, por eso algunos astrónomos sugirieron que había una forma primitiva de vida en Marte que generaba ese metano reciente. (En la Tierra, por ejemplo, los microbios metanógenos producen metano.) No obstante, los procesos geológicos de Marte también podrían crear metano, por lo que los expertos todavía intentan resolver este misterio.

La búsqueda de pruebas fósiles

En 1996, algunos científicos analizaron muestras de un meteorito que pensaban que procedía de Marte tras haber sido expulsado del planeta por el impacto de un pequeño asteroide o cometa. Descubrieron compuestos químicos y diminutas estructuras minerales que interpretaron como subproductos químicos y posibles restos fósiles de antigua vida microscópica. Su trabajo causa controversia, y, en muchos estudios realizados posteriormente, esas conclusiones se contradicen. Según la investigación actual, los científicos no pueden defender la teoría de la vida pasada en Marte, pero tampoco pueden refutarla.

Lo único que se puede hacer es buscar sistemáticamente en Marte pruebas de vida, pasada o presente, en las zonas en las que tiene más sentido: lugares en los que parece haber habido grandes cantidades de agua en el pasado y en los que se depositaron capas de sedimento en antiguos lagos o mares. Estos lugares son los

que conservan más fósiles en la Tierra.



En el año 2012, la NASA lanzó la misión espacial MSL (Mars Science Laboratory), que llevaba el vehículo explorador *Curiosity*. El objetivo es analizar el suelo y las rocas de Marte para buscar pruebas de que las condiciones del pasado eran propicias para la vida. Puedes seguir el avance de la misión y conocer los descubrimientos del *Curiosity* en tiempo real. Visita su web: <http://marsprogram.jpl.nasa.gov/msl/>.

Diferenciación de la Tierra a través de planetología comparada

Mercurio es un mundo pequeño de temperaturas extremas, con un campo magnético global como el de la Tierra, pero mucho más débil. Ni Venus ni Marte tienen ese tipo de campo magnético, a pesar de que ambos planetas sean similares a la Tierra en otros aspectos. Sin embargo, hoy en día, tenemos constancia de que sólo hay agua líquida y vida en la Tierra. ¿Qué es lo que hace que la Tierra sea diferente?

Venus, a diferencia de la Tierra, tiene una temperatura infernal. Aunque está más lejos del Sol que Mercurio, es más caliente que éste. Esa temperatura elevada se debe a un *efecto invernadero* extremo, el proceso mediante el cual los gases atmosféricos elevan la temperatura absorbiendo el calor que fluye hacia afuera. En el pasado, la atmósfera de la Tierra puede haber contenido grandes cantidades de dióxido de carbono, igual que la atmósfera del Venus actual. En cambio, en la Tierra, los océanos absorbieron gran parte del dióxido de carbono, de forma que el gas no pudo atrapar tanto calor en la atmósfera como en Venus.

Por otra parte, Marte es demasiado frío para que exista vida (según los datos que tenemos). Marte ha perdido la mayor parte de su atmósfera original y la actual no es lo suficientemente densa como para producir un efecto invernadero suficiente para calentar gran parte de la superficie por encima del punto de congelación del agua con frecuencia y durante mucho tiempo.

Los tres grandes planetas terrestres son como los platos de la historia de Ricitos de Oro. Venus está demasiado caliente, Marte está demasiado frío, pero la Tierra está justo en el punto medio adecuado para que haya agua líquida y vida tal y como las conocemos (el pequeño Mercurio también está demasiado caliente). Al reunir la información sobre las propiedades básicas de los planetas terrestres y sus respectivas diferencias, los científicos han llegado a las siguientes conclusiones:

- ✓ Mercurio es como la Luna en el exterior (con muchos cráteres) pero como la Tierra en el interior, con un núcleo de hierro fundido que genera un campo magnético.
- ✓ Venus es el “gemelo diabólico” de la Tierra. Tiene aproximadamente el mismo tamaño que la Tierra, pero con una presión y un calor mortales, una atmósfera irrespirable y un elevado nivel de lluvia ácida.
- ✓ Marte es la pequeña Tierra que se enfrió y se secó.

La Tierra es el planeta Ricitos de Oro: ¡justo el punto medio!

Cuando se comparan las propiedades de los planetas, se pueden extraer conclusiones sobre sus respectivas historias y sobre las razones que han hecho que esas historias hayan conducido a los planetas a sus estados actuales. Si piensas de esa forma, practicarás lo que los astrónomos denominan *planetología comparada*.

Observa los planetas fácilmente

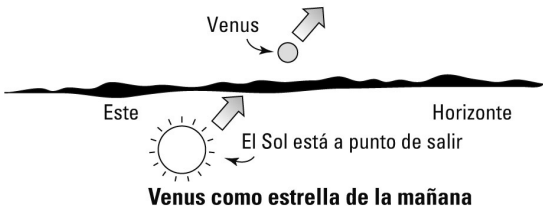
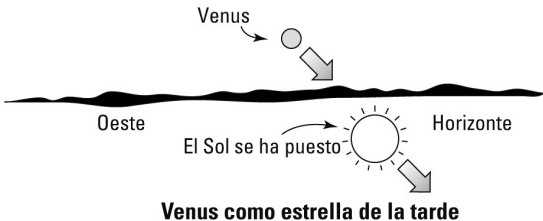
Puedes localizar Mercurio, Venus y Marte en el cielo nocturno con la ayuda de los mapas mensuales de visibilidad del cielo que publican las revistas de astronomía y de sus webs, una aplicación para *smartphone* o un *software* planetario (consulta el capítulo 2 para obtener información sobre todos estos recursos). Venus es especialmente fácil de encontrar porque es el objeto celeste más brillante del cielo nocturno, aparte de la Luna.



Mercurio es el planeta que orbita más cerca del Sol, y Venus es el siguiente. Ambos lo hacen dentro de la órbita de la Tierra, por eso Mercurio y Venus siempre están en la misma zona del cielo que el Sol, tal y como se ve desde la Tierra. Por lo tanto, puedes encontrar estos planetas en el cielo al oeste después de la puesta de Sol o en el cielo al este antes del amanecer. En esos momentos, el Sol no está muy lejos bajo el horizonte, así que puedes ver objetos cercanos y al oeste del Sol antes del amanecer, y objetos cercanos pero al este del Sol después de la puesta. Tu lema al mirar a Mercurio o Venus es “Mira al este” o “Mira al oeste” en función de si miras el cielo al amanecer o al atardecer.

Un planeta brillante que aparece por el este antes de que amanezca recibe el nombre de *lucero del alba*, y un planeta brillante que sale en el oeste después de

la puesta de Sol es un *lucero vespertino*. Como Mercurio y Venus se mueven velozmente alrededor del Sol, el lucero del alba de esta semana puede ser el mismo objeto que el lucero vespertino del mes que viene (consulta la figura 6-1).



Dinah L. Moché/Astronomy: A Self-Teaching Guide, séptima edición

Figura 6-1:

Venus puede ser una estrella de la mañana (lucero del alba) o una estrella de la tarde (lucero vespertino), aunque en realidad no sea una estrella

En los siguientes apartados te explicaré cuál es el mejor momento para observar los planetas terrestres en función de la *elongación*, la *oposición* y la *conjunción* (tres términos que describen la posición de los planetas en relación con el Sol y la Tierra) y cómo utilizar este conocimiento en tus observaciones de los planetas terrestres (enumero los planetas según su facilidad de observación, empezando por Venus, el más fácil de identificar).

¿Qué son la elongación, la oposición y la conjunción?

Elongación, oposición y conjunción son términos que describen la posición de un planeta en relación con el Sol y la Tierra. Encontrarás estos términos cuando consultes listas de las posiciones de los planetas para planificar tus observaciones. Aquí tienes las definiciones de los términos:

- ✓ *Elongación* es la separación angular entre un planeta y el Sol tal y como se ve desde la Tierra. La órbita de Mercurio es tan pequeña que el planeta nunca llega a más de 28° del Sol. Durante algunos períodos, no se aleja más de 18° del Sol, lo que hace que sea difícil de ver. Venus puede llegar a hasta 47° del Sol.

La *máxima elongación al oeste (o al este)* se da cuando un planeta está tan lejos del Sol como es posible durante una *aparición* determinada (un período de tiempo en el que el planeta es visible desde la Tierra en noches sucesivas). Algunas elongaciones máximas son mayores que otras porque hay veces en que la Tierra está más cerca del planeta que otras. La elongación es especialmente importante cuando observas Mercurio, porque este planeta suele estar tan cerca del Sol que el cielo en esa posición no es muy oscuro.

- ✓ La *oposición* se da cuando un planeta está en el lado opuesto de la Tierra respecto al Sol. La oposición nunca se da en el caso de Mercurio ni de Venus, pero Marte está en oposición aproximadamente una vez cada veintiséis meses. Ése es el mejor momento para observar este planeta porque es cuando aparece más grande visto con un telescopio. Y en la oposición, Marte está más alto en el cielo a medianoche, por eso lo puedes ver durante toda la noche.
- ✓ La *conjunción* se da cuando dos objetos del Sistema Solar están cerca el uno del otro en el cielo, como cuando la Luna pasa cerca de Venus desde nuestro punto de vista. En realidad, Venus está mucho más allá de la Luna, pero vemos una conjunción de la Luna y Venus.

La conjunción también tiene un significado técnico. En lugar de describir posiciones según su *ascensión recta* (la posición de una estrella medida en dirección este-oeste) y su *declinación* (posición de una estrella medida en dirección norte-sur), a veces los astrónomos utilizan la latitud y la longitud eclípticas. La eclíptica es un círculo en el cielo que representa el camino del Sol a

través de las constelaciones. *La latitud y la longitud de la eclíptica* miden grados norte y sur (latitud) o este y oeste (longitud) respecto a la eclíptica. (No te preocupes; no tienes que utilizar el sistema eclíptico cuando observes los planetas terrestres. Eso sí, conocer este sistema te ayudará a comprender las definiciones de *conjunción superior* e *inferior* que aparecen más adelante.)

Debes dominar cierta terminología para comprender las conjunciones y las oposiciones: identificar si un planeta es superior o inferior y saber si una conjunción es superior o inferior. Un *planeta superior* orbita fuera de la órbita de la Tierra (por eso, Marte, por ejemplo, es un planeta superior). Un *planeta inferior* orbita dentro de la órbita de la Tierra (por eso, Mercurio y Venus son planetas inferiores; de hecho, son los únicos planetas inferiores).

Cuando un planeta superior está en la misma longitud que el Sol tal y como se ve desde la Tierra, se encuentra más allá del Sol y se dice que está en *conjunción* (consulta la figura 6-2). Cuando ese mismo planeta está en el lado opuesto al Sol, visto desde la Tierra (también aparece en la figura 6-2), hablamos de una *oposición*.



La conjunción es un mal momento para observar un planeta superior porque se encuentra más allá del Sol y casi en la misma dirección. No intentes observar Marte en la conjunción; no lo verás. El mejor momento para observar Marte es en la oposición.

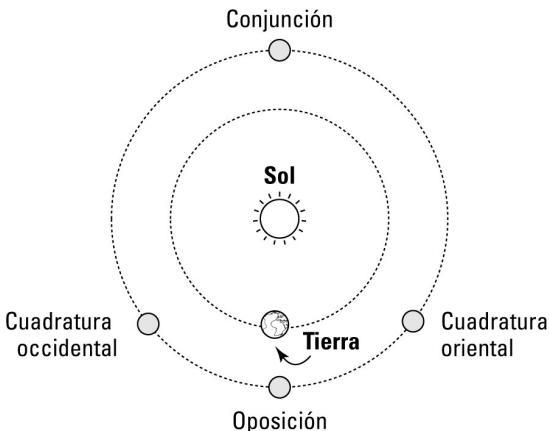


Figura 6-2:

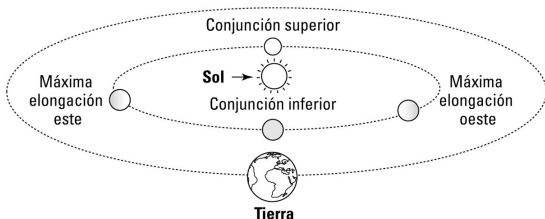
Un planeta superior en conjunción está en la misma dirección este-oeste que el Sol

Un planeta superior tiene conjunciones y oposiciones, pero un planeta inferior tiene dos tipos de conjunciones y jamás tiene una oposición (consulta el diagrama de la figura 6-3). Cuando el planeta inferior tiene la misma longitud que el Sol y se sitúa entre el Sol y la Tierra, está en la conjunción inferior. Y cuando el planeta inferior tiene la misma longitud que el Sol pero está más allá del Sol tal y como se ve desde la Tierra, el planeta está en la conjunción superior.

Si puedes explicar todo esto a tus amigos, ¡te sentirás superior! Puedes explicarlo “en conjunción” con las figuras 6-2 y 6-3.



El momento óptimo para ver Venus es en la conjunción inferior, cuando parece más grande y más brillante, pero Mercurio está demasiado cerca del Sol tal y como se ve desde la Tierra, como para verlo en una conjunción inferior o superior. El mejor momento para ver Mercurio es cuando está en su máxima elongación.



Dinah L. Moché/Astronomy: A Self-Teaching Guide, séptima edición

Figura 6-3:

La conjunción inferior alinea un planeta inferior con el Sol en dirección esteoeste

Observación de Venus y de sus fases

El planeta más fácil de encontrar es Venus. La segunda roca desde el Sol es tan brillante que quienes no tienen conocimientos de astronomía suelen verla y llaman a emisoras de radio, periódicos y planetarios para preguntar “cuál es esa estrella tan brillante”.

Cuando las nubes se mueven de oeste a este delante de Venus, los observadores sin experiencia suelen malinterpretar la escena. La gente piensa que Venus (que ellos no han reconocido) se mueve rápidamente en dirección opuesta a las nubes. Debido a su brillo y a la errónea impresión de que se mueve rápido detrás de la nube, la gente suele creer que ha visto un objeto volador no identificado... que resulta ser Venus. Los astrónomos lo saben bien.



Cuando te familiarizas con Venus, puedes verlo a plena luz del día. A menudo, Venus es lo suficientemente brillante como para que, cuando el cielo está claro, puedas verlo utilizando visión indirecta. Dicho de otro modo, puedes verlo “con el rabillo del ojo”. Por alguna razón, a veces se puede ver mejor un objeto celeste con mayor facilidad con visión indirecta que si lo miras directamente. La capacidad para ver cosas con la visión periférica puede ser un rasgo de supervivencia; hace que sea un poco más difícil que un enemigo o un depredador te ataque por sorpresa desde un lado.

Un telescopio pequeño te puede mostrar los rasgos más reconocibles de

Venus: sus fases y sus cambios de tamaño aparente. Venus tiene fases parecidas a la Luna (consulta el capítulo 5), y por la misma razón: a veces, parte del hemisferio de Venus que está frente al Sol (y, por lo tanto, brilla) no está orientado hacia la Tierra, por consiguiente, una visión telescópica de Venus muestra un disco en parte iluminado y en parte oscuro. La línea divisoria entre las partes brillantes y oscuras de Venus recibe el nombre de *terminador*; igual que el límite de la Luna.

Como Venus y la Tierra orbitan alrededor del Sol, la distancia entre los dos planetas cambia sustancialmente. En su punto más cercano a la Tierra, Venus sólo está a 40 millones de kilómetros; y, en su punto más alejado, está a 257 millones de kilómetros de distancia. Aquí, lo importante es el cambio proporcional: en su punto más cercano, Venus está unas seis veces más cerca de la Tierra que en su posición más distante. Por lo tanto, parece seis veces mayor a través de un telescopio.



Lo que no ves cuando observas Venus son rasgos destacados, como el Hombre de la Luna. Venus está totalmente cubierto por densas nubes, y sólo puedes ver la parte superior de éstas. Venus es muy brillante porque orbita relativamente cerca tanto del Sol como de la Tierra y porque tiene una buena y brillante capa reflectora de nubes. Sin embargo, a veces, quizá puedas distinguir los cuernos del creciente de Venus que se extiende más allá del lado oscuro de lo que se predijo ese día para esa fase. En este caso, ves luz solar que se ha reflejado en la atmósfera de Venus y ha pasado más allá del terminador hasta llegar al lado del planeta en el que ya es de noche.



Espera un minuto de arco (o segundo)

Los científicos miden los tamaños aparentes del cielo en unidades angulares. Algo que recorre todo el cielo, como el ecuador celeste, tiene 360° de longitud. El Sol y la Luna, en comparación, miden alrededor de medio grado de ancho. Los planetas son mucho más pequeños, así que son necesarias unidades más pequeñas para describirlos. Un grado se divide en 60 minutos de arco, y un minuto de arco (denominado también *arc min*) se divide en 60 segundos de arco (denominado *arc sec*). Un grado está formado por 3.600 (60×60) segundos de arco. En muchos libros y artículos de astronomía, la

prima (') representa un minuto de arco, y la doble prima (") representa un segundo de arco. Los lectores suelen confundir estos símbolos y creen que son abreviaturas de pies y pulgadas. Puedes saber si un corrector que no tiene ni idea ha sido el último en repasar un artículo de astronomía porque ves afirmaciones como "la Luna mide unos 30 pies de diámetro".

De hecho, el diámetro de Venus es sólo un 5 % más pequeño que el de la Tierra. Su tamaño aparente, o *diámetro angular*, va de unos 10 segundos de arco cuando Venus está más alejado (y con forma de luna llena) a unos 58 segundos de arco de diámetro cuando está más cerca (y con forma de luna creciente).

Un dato curioso: un segundo de arco equivale al tamaño aparente de una moneda de 1 euro vista a una distancia de unos 4,8 kilómetros.

Las imágenes de Venus con asombrosas estructuras de nubes, como las que aparecen en los libros, se tomaron con luz ultravioleta, en la que esas estructuras son visibles. La luz ultravioleta no pasa a través de nuestra atmósfera (¡viva la capa de ozono, que bloquea esta peligrosa radiación!), por eso no puedes ver a Venus en ella. En realidad, no puedes ver la luz ultravioleta de ninguna manera; es invisible para el ojo humano. Pero los telescopios incorporados en satélites y sondas espaciales por encima de la atmósfera o más allá de ella pueden hacer fotos ultravioletas.

En contadas ocasiones, hay observadores que afirman haber visto un ligero brillo en la parte oscura de Venus. Este brillo, denominado *luz Ashen*, a veces es real y, a veces, producto de la imaginación. Tras siglos de estudio, los expertos aún no son capaces de explicar la luz Ashen, así que algunos incluso niegan que exista. Pero, con un poco de suerte, la puedes ver. Hay personas que afirman haber visto otros rasgos de Venus con sus telescopios, pero casi todos sus informes son erróneos. Los experimentos muestran que, normalmente, es debido a un efecto psicológico: si alguien ve un globo blanco sin rasgos distintivos desde una cierta distancia, puede que en él vea figuras que no existen.



Intenta coger un tránsito planetario

En raras ocasiones puedes ver un *tránsito planetario*, que es cuando un planeta pasa justo por delante del Sol y parece un diminuto disco negro contra la

brillante superficie solar. Sólo los planetas inferiores (Mercurio y Venus) transitan el Sol, porque solamente ellos se sitúan entre la Tierra y el Sol.

Puedes observar un tránsito de Mercurio con un telescopio pequeño, pero debes utilizar los procedimientos para la observación solar segura que explico en el capítulo 10. De lo contrario, te arriesgas a sufrir graves daños oculares e incluso te puede provocar ceguera. Te aconsejo que compruebes si tu planetario, museo o club de astronomía local organiza una observación de tránsito (es algo habitual). Así, puedes observarlo con un equipo montado por expertos. Los dos próximos tránsitos de Mercurio son el 9 de mayo de 2016 y el 11 de noviembre de 2019.

Los tránsitos de Venus son más impresionantes que los de Mercurio porque Venus tiene un disco mayor, pero también son mucho más escasos. Por desgracia, si no has visto ya un tránsito de Venus, creo que nunca lo harás. El último fue en junio de 2012, poco antes de que este libro fuera a imprenta, y el próximo no será hasta diciembre de 2117. Deja una nota a tus descendientes para que no se lo pierdan.

Observa Marte mientras da la vuelta

Marte es un objeto rojo y brillante, pero no tan deslumbrante como Venus. Comprueba tus mapas celestes para asegurarte de no confundir una estrella roja brillante, como Antares en Escorpio (cuyo nombre significa “rival de Marte”), con el planeta rojo.

La gran ventaja al observar Marte es que, cuando aparece en el cielo nocturno, suele permanecer visible durante gran parte de la noche, a diferencia de Mercurio y Venus, que se ponen bastante pronto después de la puesta de Sol o salen poco antes del amanecer. Normalmente, tienes tiempo de cenar y ver las noticias de la noche antes de salir al jardín para observar Marte.



Con un telescopio pequeño, puedes ver como mínimo unas cuantas marcas oscuras en Marte. Los mejores momentos para ver estos rasgos duran unos meses, pero sólo se dan cada veintiséis meses, cuando Marte está en oposición. En la oposición, Marte parece más grande y más brillante y podrás ver más detalles en su superficie.

Las próximas oposiciones de Marte se producirán en:

Abril de 2014
Mayo de 2016
Julio de 2018
Octubre de 2020
Diciembre de 2022
Enero de 2025

¡No te las pierdas!



En sus mejores oposiciones, cuando parece más grande y más brillante, Marte está al sur del ecuador celeste, pero aún puedes observarlo desde latitudes templadas en el hemisferio norte.

El fenómeno de superficie más fácil de ver de Marte con un telescopio pequeño suele ser Syrtis Major, una gran zona oscura que se extiende hacia el norte desde el ecuador. El día de Marte dura casi lo mismo que el de la Tierra: 24 horas y 37 minutos. Por eso, si miras a Marte varias veces durante una noche, quizá puedas ver Syrtis Major moviéndose despacio a través del disco del planeta mientras Marte gira. Los observadores planetarios aficionados experimentados pueden ver sus casquetes polares y otros elementos.



Las imágenes de la NASA de Marte, tomadas por sondas interplanetarias y por el telescopio espacial *Hubble*, son demasiado detalladas para servirte como guía al observar a través de un telescopio pequeño. Necesitas un simple *mapa de albedo*, que muestra y nombra las zonas brillantes y oscuras de Marte visibles con telescopios pequeños. Un mapa de albedo ofrece más detalle de lo que ve el observador medio y ofrece una buena guía y un reto para tus habilidades de observación. Puedes encontrar ese mapa (preparado por la Asociación de Observadores Planetarios y Lunares) en la página web MarsWATCH de la NASA, <http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/mpf/marswatch/marsnom.htm> También recomiendo *A Traveler's Guide to Mars*, un buen libro de bolsillo con cartas desplegables, escrito por William K. Hartmann, un excelente científico planetario que, por si fuera poco, también es un excelente artista del espacio (Workman Publishing, 2003).

Los astrónomos califican las condiciones del cielo según su *seeing* (la

estabilidad de la atmósfera por encima del telescopio), *transparencia* (la inexistencia de nubes y niebla) y la *oscuridad* (sin luz artificial que haga interferencias, luz lunar o luz solar). Cuando se observa un planeta brillante como Marte, el buen *seeing* es el factor más importante y el cielo oscuro el que menos. Pero cuanto más oscuro esté el cielo, más estable sea el aire y mayor sea la transparencia más disfrutarás la noche.



Con un buen *seeing*, las estrellas no parpadean tanto, y puedes utilizar un ocular de mayor aumento con el telescopio para descubrir los detalles de Marte o de otro planeta. Cuando el *seeing* no es bueno, la imagen telescópica parece borrosa, como si diera saltos. Si las condiciones son adversas, un gran aumento no tiene sentido, ya que lo único que se consigue es ampliar una imagen borrosa que salta. Utiliza un ocular de baja potencia para conseguir un mejor resultado.

Por desgracia, incluso cuando las condiciones atmosféricas son ideales en tu lugar de observación, y se está produciendo una oposición de Marte, puede producirse un desastre. Marte es un planeta que experimenta tormentas de polvo por todas partes, lo que oculta a la vista los elementos de su superficie.



Sigue el rastro del retroceso de Marte

Un proyecto básico para los observadores principiantes de Marte es seguir el rastro del movimiento que hace el planeta a través de las constelaciones; sólo necesitas tus ojos y un mapa del cielo.

Localiza a Marte entre las estrellas y marca esa posición en el mapa con un lápiz de mina blanda. Si repites esta observación en todas las noches claras, podrás ver aparecer una figura que desconcertó a los antiguos griegos y condujo a complicadas teorías, la mayoría de las cuales son erróneas.

Por lo general, Marte se mueve hacia el este noche tras noche, igual que la Luna se mueve hacia el este a través de las constelaciones. La Luna siempre avanza, pero Marte a veces revierte su curso. Durante dos a casi tres meses seguidos (de 62 a 81 días), Marte se dirige al oeste a través de las constelaciones, moviéndose en sentido inverso entre 10 y 20°. Tras este periodo, vuelve a su camino y se dirige al este de nuevo. Este retroceso

recibe el nombre de *movimiento retrógrado* de Marte.

Este tipo de movimiento no se debe a que Marte no sepa si ir o venir; es un efecto producido por el desplazamiento de la Tierra alrededor del Sol. Mientras tú haces un seguimiento del movimiento de Marte, sigues en la Tierra, que se desplaza alrededor del Sol completando su órbita en 365 días. Marte se mueve despacio y describe una órbita completa cada 687 días. En consecuencia, cuando “adelantamos” a Marte por nuestra vía interior, Marte parece haberse movido hacia atrás respecto al marco de referencia de las estrellas distantes. Pero, en realidad, Marte siempre va hacia delante.



De hecho, los astrónomos profesionales a veces confían en aficionados a la astronomía para que les ayuden a controlar a Marte, para que les avisen cuando empieza una tormenta de polvo y si se producen otros cambios destacables en el aspecto del planeta. Puedes conseguir información sobre este programa en la web del International MarsWatch, de la Rowan University (<http://elvis.rowan.edu/marswatch/news.php>). En la página MarsView de este sitio, puedes planificar tu observación de Marte introduciendo la fecha y la hora UTC en la que preveas observar (explico cómo obtener la hora UTC en el capítulo 5, en el apartado, “Cómo encontrar el momento adecuado”). Además, la web muestra una imagen en color que predice qué aspecto tendrá Marte en el momento que tú especifiques. Si ves que una tormenta de polvo cubre gran parte de Marte, puede que eche a perder tu observación, pero también podrían reconocerte el mérito de haber alertado a los científicos del fenómeno. Los expertos agradecerán tu historia sobre el polvo, no la rechazarán.

Necesitarás bastante experiencia para convertirte en un hábil observador telescópico de Marte. Como observador principiante, no supongas que se está produciendo una gran tormenta de polvo cuando no puedas ver detalle alguno. Acostúmbrate a ver Marte en distintas ocasiones, cuando las condiciones de observación sean mejores y peores. Sólo después de muchas observaciones podrás considerar que, cuando no puedes ver detalles, es por culpa del planeta, no de las circunstancias de la observación ni de tu inexperiencia. Recuerda este lema científico: “La falta de pruebas no es necesariamente una prueba de dicha falta”. Quizá la primera vez que mires no veas detalles de la superficie de Marte, pero eso no significa que una tormenta de polvo esté oscureciendo tu visión. Como observador a través de telescopio, debes entrenar tus habilidades de

observación, igual que los *gourmets* y los amantes del vino entrenan sus paladares. Brindo por ello.

Y, para tu información, Marte solamente tiene dos lunas conocidas, Fobos y Deimos. Estos diminutos cuerpos celestes no son visibles con telescopios pequeños.

Supera a Copérnico observando a Mercurio

Los historiadores dicen que el gran astrónomo polaco Nicolás Copérnico (1473–1543), quien propuso la *teoría heliocéntrica* (con el Sol como centro) del Sistema Solar, nunca vio el planeta Mercurio.

Pero Copérnico no tenía ayudas modernas, como aplicaciones para *smartphone*, *software* de planetarios, webs de astronomía, ni siquiera revistas mensuales sobre este tema (consulta el capítulo 2). Puedes utilizar estas ayudas para averiguar en qué momento del año estará mejor situado Mercurio para su observación: los momentos de mayor elongación oeste y este (términos que comento en el apartado “¿Qué son la elongación, la oposición y la conjunción?” anteriormente en este capítulo), que se producen unas seis veces al año.

En las latitudes templadas, como la de España, Mercurio sólo suele ser visible al atardecer. Cuando el cielo está oscuro, mucho después de la puesta de Sol, Mercurio también se ha puesto. Por la mañana, no puedes verlo hasta que está a punto de amanecer y empiezan a aparecer las primeras luces en el cielo. Mercurio parece una estrella brillante pero da la impresión de ser mucho más tenue que Venus en el oeste al atardecer o en el este antes del amanecer.



Puedes obtener más información sobre cómo observar Mercurio y otros planetas en la ALPO (Asociación de Observadores Planetarios y Lunares), que también recoge dibujos y otras observaciones planetarias realizadas por observadores aficionados. Además, ofrece formularios, mapas y publicaciones diversas relacionadas con la observación. Esta asociación tiene diversos departamentos especializados en las observaciones de Mercurio y de otros planetas. Consulta <http://alpo-astronomy.org>. En el Reino Unido, la Asociación Astronómica Británica tiene grupos similares, visita <http://britastro.org/baa> y haz clic en *Sections* para obtener más información.

Levántate temprano para ver a Mercurio

Mercurio es mucho más pequeño que Venus, pero puedes ver sus fases a través del telescopio. El mejor momento para hacerlo es cuando Mercurio está en la elongación oeste y aparece en el ocaso matutino. El *seeing* o estabilidad atmosférica casi siempre es mejor a baja altitud en el este cerca del amanecer que a baja altitud en el oeste después de la puesta de Sol, así que conseguirás una visión mucho más nítida por la mañana. Las guías estándares, como la prestigiosa *Observer's Handbook* (una publicación anual de la Real Sociedad Astronómica de Canadá, www.rasc.ca), y las revistas de astronomía y sus webs (consulta el capítulo 2) indican cuándo se va a producir una elongación. Si quieres disponer de estos datos con más antelación, consulta el útil manual *Celestial Delights: The Best Astronomical Events Through 2020*, de Francis Reddy (Springer, 2012), en el que se incluye una tabla de las máximas elongaciones de Mercurio y Venus hasta el año 2020.



Necesitas un lugar de observación con un horizonte despejado al este porque Mercurio no está alto en el cielo cuando el Sol está por debajo del horizonte. Si tienes problemas para verlo a simple vista, observa esa parte del cielo con unos prismáticos de baja potencia. Si tienes un telescopio computarizado que incluya base de datos, basta con que indiques “Mercurio” y dejes que el telescopio lo encuentre.

No esperes ver marcas en la superficie

Ver marcas en la superficie de Mercurio con un telescopio pequeño, o con cualquier telescopio, desde la Tierra, es extremadamente difícil. El tamaño aparente de Mercurio en la máxima elongación es sólo de unos 6 a 8 segundos de arco. Consulta el apartado “Espera un minuto de arco (o segundo)” que encontrarás en este capítulo para obtener información más detallada.

Algunos observadores aficionados con experiencia afirman haber visto marcas en la superficie, pero nunca se ha conseguido información útil a partir de esas observaciones. Unos pocos de los mayores observadores planetarios de todos los tiempos pensaron que podían ver y dibujar las marcas de la superficie. A partir de sus dibujos, los observadores intentaron deducir el período de rotación, o “día” de Mercurio. Llegaron a la conclusión de que el día de Mercurio era igual a la duración de un año en Mercurio, u 88 días de la Tierra. Pero se equivocaban. Las mediciones de radar demostraron posteriormente que Mercurio gira una vez cada 59 días de la Tierra. Así, un año de Mercurio es más corto que dos de sus días.

En cualquier caso, cuando averigües cómo ver Mercurio a simple vista y,

después, veas sus fases con tu telescopio, ¡habrás superado con creces a Copérnico!

Los amantes de Mercurio eligen la mañana

Aquí tienes la respuesta a por qué la observación es mejor cerca del horizonte del amanecer que cerca del horizonte de la puesta de Sol: en la puesta de Sol, nuestro astro rey ha calentado la superficie de la Tierra durante todo el día, por eso, cuando miras hacia el cielo a baja altura hacia el oeste, miras a través de corrientes turbulentas de aire cálido que suben desde la superficie. Sin embargo, por la mañana, la Tierra ha tenido toda la noche para enfriarse y estabilizarse. El Sol naciente tarda unas horas en calentar la Tierra y volver a entorpecer la visión.

Capítulo 7

El cinturón de asteroides y los NEO

En este capítulo

- ▶ Descubrirás aspectos fundamentales sobre los asteroides
 - ▶ Evaluarás el riesgo de que se produzca un impacto asteroideo contra la Tierra
 - ▶ Observarás asteroides en el cielo nocturno
-

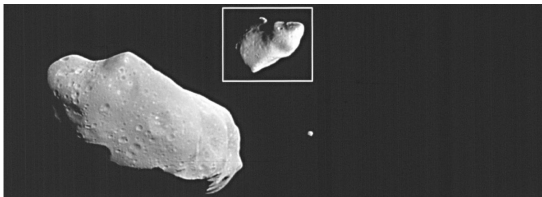
Los *asteroides* son rocas grandes que rodean al Sol. La gran mayoría de los asteroides están más allá de la órbita de Marte, en una zona segura llamada *cinturón de asteroides*, pero miles de otros asteroides siguen órbitas que se acercan o cruzan la órbita de la Tierra. Muchos científicos creen que un asteroide chocó contra la Tierra hace unos 65 millones de años y exterminó a los dinosaurios y a muchas otras especies.

En este capítulo te introduciré estas grandes rocas y te explicaré cuáles son las mejores formas de observarlas. Y por si te preocupa, te contaré la verdad sobre el riesgo de que un asteroide o algún otro NEO (siglas inglesas para *Near-Earth Objects* u objetos cercanos a la Tierra) choque contra la Tierra en el futuro y te informaré de la investigación que están llevando a cabo los científicos para enfrentarse a dicha posibilidad.

Breve visita al cinturón de asteroides

Los asteroides también reciben el nombre de planetas menores porque, cuando los descubrieron, los expertos pensaron que eran objetos como los planetas. En cambio, hoy en día, los astrónomos creen que los asteroides son restos de la formación del Sistema Solar, es decir, objetos que nunca se

fusionaron con suficientes escombros espaciales para convertirse en un planeta. Algunos asteroides, como Ida, incluso tienen sus propias lunas (consulta la figura 7-1). Los asteroides están formados por rocas silicatadas, como las de la Tierra, y de metal (sobre todo, de hierro y níquel). Algunos asteroides puede que también contengan rocas carbonáceas (con carbono) y, en los últimos años se ha encontrado hielo en algunos asteroides.



Cortesía de la NASA

Figura 7-1:

El asteroide Ida tiene su propia luna, Dactyl

La mayoría de los asteroides conocidos se encuentran en una gran región aplanada, cuyo centro es el Sol, situada entre las órbitas de Marte y Júpiter. Esta zona recibe el nombre de *Cinturón de asteroides*. Los asteroides tienen un tamaño que va desde los 952 kilómetros de diámetro que tiene Ceres, a meteoroides grandes, es decir, fragmentos de asteroides (consulta el capítulo 4). Una roca espacial grande es un asteroide muy pequeño o un meteoroides muy grande; puedes elegir la que quieras.

Los meteoroides asteroidales, que describo en el capítulo 4, están compuestos por roca y/o hierro; cuando caen en la Tierra, reciben el nombre de meteoritos. Puedes ver estos meteoritos en muchos museos de geología e historia natural. Los asteroides son fragmentos mucho mayores de la misma materia. Para ver meteoritos, consulta el sitio web Meteor Collector, en www.meteoritecollector.org/museums.html, y busca una colección en algún museo que se encuentre cerca de ti.

En la tabla 7-1 aparecen los cuatro objetos más grandes del cinturón de asteroides. Los dos mayores, Ceres y Pallas, están prácticamente a la misma distancia media del Sol, a pesar de que Pallas tenga una órbita mucho más elíptica.

Tabla 7-1. Los “cuatro grandes” del cinturón de asteroides

Nombre	Diámetro en km	Distancia media desde el Sol (en ua)
Ceres	952	2,77
Palas	545	2,77
Vesta	530	2,36
Higiea	407	3,14

A finales de 2011, había unos seiscientos mil asteroides conocidos, de los cuales, unos dieciséis mil habían sido bautizados (entre ellos uno que la Unión Astronómica Internacional tuvo la amabilidad de nombrar en mi honor; me alegro de que no le llamaran *Dummy*). En general, fueron descubiertos en los últimos años por telescopios robóticos diseñados para tal propósito; sin embargo, los aficionados a la astronomía experimentados que han montado cámaras digitales avanzadas en sus telescopios también están haciendo interesantes descubrimientos.

Puedes ver los asteroides más grandes, como Ceres y Vesta, a través de telescopios pequeños (visita el apartado “En busca de pequeños puntos de luz” para saber más sobre la observación de asteroides).

Ceres y Vesta son tan grandes que su propia gravedad hace que sean esféricos. Un cráter de Vesta, Rheasilvia, es casi tan ancho como el asteroide en sí. Los depósitos de material oscuro de la superficie de Vesta pueden proceder de los impactos de meteoroides que tienen carbono o de colisiones con pequeños asteroides que fundieron su superficie y provocaron flujos de lava. Probablemente también haya mucho hielo en lugares fríos y oscuros de Vesta.

Los asteroides pequeños suelen tener forma de patata y, con frecuencia, parecen producto de una explosión (consulta la figura 7-2) porque, de hecho, lo han sido. Los asteroides del cinturón chocan constantemente entre sí, por lo que se forman cráteres de impacto y producen fragmentos grandes y pequeños (aporta un significado nuevo al verbo *machacar*). Los fragmentos grandes son sólo asteroides más pequeños, y los pequeños, meteoroides asteroidales.

En contadas ocasiones los asteroides pequeños (o los meteoroides grandes) golpean con fuerza la Tierra (consulta el apartado siguiente para obtener más información sobre este fenómeno). Los impactos de asteroides (y los impactos de cometas) también han cubierto la Luna, Marte y Mercurio de cráteres; Venus también tiene cráteres, pero no tantos (describo estos objetos con cráteres en los capítulos 5 y 6).



Los asteroides también tienen cráteres, pero son más difíciles de ver con los telescopios porque estos cuerpos celestes son muy pequeños. En la mayoría de los telescopios, un asteroide es sólo un punto de luz, como una estrella. Puedes ver cráteres y otros rasgos de Vesta en la web de la sonda espacial *Dawn* de la NASA. *Dawn* llegó a Vesta en julio de 2011 para estudiarlo antes de partir hacia Ceres, donde llegará en el año 2015. Para ver las imágenes y conocer los descubrimientos de esta sonda mientras *Dawn* arroja luz sobre estos asteroides, visita <http://dawn.jpl.nasa.gov>.

La NASA ya había enviado una sonda anteriormente, la NEAR (Near Earth Asteroid Rendezvous-Shoemaker), que allanó el camino a la *Dawn* explorando el asteroide Eros, de 33,8 kilómetros de largo, que cruza el interior de la órbita de Marte. Esa sonda orbitó alrededor de Eros durante un año y aterrizó el 12 de febrero de 2001. Puedes ver un video de este alargado asteroide en la web de NEAR Shoemaker (www.discovery.nasa.gov/near.cfml).



Cortesía de la NASA

Figura 7-2:

Comprende la amenaza que suponen los NEO

No todos los asteroides orbitan de forma segura más allá de Marte. Miles de pequeños asteroides siguen órbitas que cruzan o se acercan a la de la Tierra. Los astrónomos denominan a todos estos vecinos NEO (NearEarth Objects; objetos cercanos a la Tierra), y hasta marzo de 2012 habían considerado que 1.296 de ellos eran asteroides potencialmente peligrosos, conocidos como PHA (del inglés, *Potentially Hazardous Asteroid*). Algún día, uno de estos aterradores vecinos puede que se acerque incómodamente a la Tierra o incluso que choque contra nuestro planeta. El Minor Planet Center (Centro de Planetas Menores) de la Unión Astronómica Internacional sigue la pista a los asteroides potencialmente peligrosos. Además, varios observatorios barren el cielo para descubrir más asteroides de este tipo.



El sitio web del Minor Planet Center (www.minorplanetcenter.net) ofrece información para expertos y aficionados a la astronomía, incluye mapas del Sistema Solar interior y exterior, actualizados a diario, que muestran dónde se encuentran los planetas y muchos de los asteroides.

Actualmente, los astrónomos no saben si hay algún objeto específico que suponga una amenaza para la Tierra. Sin embargo, una roca de unos cuantos kilómetros que chocara contra la Tierra a 11 kilómetros por segundo provocaría una catástrofe mucho mayor que la explosión simultánea de todas las armas nucleares fabricadas. Sería uno de esos casos raros en los que la astronomía no es divertida. Asteroides de este tamaño chocan contra la Tierra cada diez millones de años, aproximadamente, y otros más pequeños chocan más a menudo. Los asteroides más grandes impactan contra la Tierra con menos frecuencia porque son menos numerosos.

Los aficionados a las teorías conspirativas piensan que si los astrónomos supiéramos que nos va a caer un asteroide el día del juicio final, no lo diríamos. Pero, la verdad, si yo supiera que el mundo está en peligro, ¡zanjaría todos mis asuntos y me iría a los Mares del Sur en vez de seguir aquí sentado acabando este capítulo!

En 1998, las películas de Hollywood *Armageddon* y *Deep Impact* presentaron versiones sensacionalistas de lo que puede suceder si un cometa o un gran

asteroide estuviera a punto de chocar contra la Tierra. En parte, estas historias catastrofistas se inspiran en la conclusión, ampliamente aceptada, de que un asteroide de unos 10 kilómetros de ancho chocó contra la Tierra hace unos 65 millones de años. El cráter Chicxulub, una formación geológica de 180 kilómetros de ancho situada en parte en la península del Yucatán, en México, y en parte en el mar, en el golfo de México, puede ser el rastro que ha sobrevivido de aquel impacto, que, según se han teorizado, acabó con los dinosaurios.

El clima y los procesos geológicos, como la formación de montañas, la erosión y el vulcanismo, han erosionado los cráteres de impacto en la Tierra y en su mayoría los han eliminado. En la página web de Earth Impact Database, de la Universidad de New Brunswick, te ofrecen una lista de más de ciento ochenta de los cráteres que quedan en nuestro planeta, con fotografías y mapas de algunos de ellos (www.passc.net/EarthImpactDatabase/index.html).

Las inundaciones, la erosión, el vulcanismo y otros procesos afectan al paisaje de la Tierra y entierran, llenan o destruyen en parte muchos cráteres de impacto, y algunos de ellos todavía no se han encontrado. Si haces muchas excursiones, exploraciones u observaciones aéreas, puede que llegues a descubrir el cráter dejado por un impacto. Si ves un posible cráter, consulta la base de datos de impactos en la Tierra que he comentado en el párrafo anterior. Allí dispones de un formulario en línea para informar de tu descubrimiento.



El impacto de un asteroide pequeño causó el famoso Meteor Crater o Cráter del Meteorito (que, en realidad, debería llamarse Cráter del Meteoritoide o Cráter del Asteroide) en el norte de Arizona, cerca de Flagstaff. El lugar merece una visita, ya que es el cráter de impacto más grande y mejor conservado de la Tierra. Durante la década de los sesenta, siendo yo uno de los jóvenes científicos del Kitt Peak National Observatory de Arizona, bastaba con decir al recepcionista del Cráter del Meteorito que eras astrónomo y entrabas gratis. Hoy en día, todo el mundo que tenga más de cinco años debe pagar entrada, pero vale la pena. Visita la web www.meteorcrater.com para obtener información sobre las horas en las que se puede visitar el cráter, cómo llegar hasta allí y más datos.

Durante un breve tiempo, en marzo de 1998, muchas personas temieron que un NEO pequeño y recién descubierto pudiera chocar contra la Tierra en el año 2028. Los astrónomos desmontaron esa posibilidad en cuestión de un día, con observaciones adicionales que mostraron que la órbita del asteroide no cruzaba la Tierra. Algunos expertos incluso estaban en desacuerdo con la predicción inicial (algo que suele suceder con los expertos).

A pesar de que por ahora la Tierra parezca un sitio seguro, los científicos pueden descubrir un NEO en una trayectoria de colisión con la Tierra en el futuro, por eso dedican tiempo a estudiar qué se puede hacer ante esta posibilidad.

Si quieres explorar las consecuencias de una colisión, descarga la aplicación CraterSizeXL en tu iPhone o iPad. Introduce el tamaño y la velocidad de un cuerpo que cae, y la aplicación calcula el tamaño del cráter que formará. O puedes visitar el sitio web Impact Earth!, de la Purdue University (www.purdue.edu/impactearth) y calcular la catástrofe en línea.

Cuando la cosa se pone fea: cómo desviar un asteroide

Algunos expertos proponen desarrollar un potente misil nuclear para interceptar a un asteroide asesino antes de que pueda chocar contra la Tierra. Pero si hacemos estallar un asteroide que se dirige hacia nosotros, los resultados podrían ser peores que el daño causado por el impacto del asteroide intacto. Sería como la escena de la película *Fantasia*, de Walt Disney, en la que el aprendiz de brujo rompe a hachazos la escoba mágica porque, tras el hechizo, está fuera de control y no deja de recoger agua. Al final, acaba con un montón de escobas pequeñas, todas las cuales también empiezan a recoger agua.

Si hiciéramos estallar un asteroide con una bomba nuclear, se desintegraría creando un sinfín de rocas más pequeñas que seguirían la misma mortífera trayectoria. El golpe de estas rocas sería mayor que el de todas las armas del Pentágono juntas. Es mejor utilizar el misil nuclear (o algún otro tipo de misil) sólo para desviar suavemente el asteroide, de manera que pase a través de su punto de intersección con la órbita de la Tierra un poco antes o un poco después, cuando la Tierra aún no haya llegado a ese punto o ya lo haya pasado. ¡Buf!

A la hora de desviar suavemente un asteroide el problema es que los científicos no saben cuánta fuerza aplicar. No queremos romperlo, pero no conocemos la resistencia mecánica de los asteroides y no sabemos con cuánta fuerza golpearlo. Los asteroides pueden estar formados por rocas duras o por piedras frágiles. Algunos pueden ser de metal sólido. Si no conocemos a nuestro enemigo, empeoraremos las cosas si le atacamos de forma incorrecta.

En lugar de arriesgarnos a sufrir consecuencias no deseadas al intentar hacer estallar un asteroide amenazante o al darle un empujón, los ingenieros sugieren utilizar un *tractor de gravedad*. Una nave espacial muy robusta volaría junto al asteroide durante años. Sin llegar a tocar el cuerpo amenazante, la nave espacial cambiaría despacio la velocidad a la que se mueve el asteroide, gracias a la atracción gravitatoria entre ambos cuerpos. Este plan debería hacer que el asteroide se mantuviera intacto pero con una trayectoria que evitaría la Tierra. El

problema de este método es que implica lanzar una nave espacial muy pesada cerca del asteroide y, después, mantenerla cerca de la gran roca durante una década o más. Puede que no quede tiempo suficiente para hacerlo después de haber predicho la colisión.

Los expertos han ofrecido muchas otras ideas sobre cómo evitar la amenaza que supone un asteroide, pero no está claro cuál es el mejor método.

En la película *Fantasia*, el propio brujo rompe el hechizo de la escoba encantada, pero sin un hechicero que haga desaparecer los asteroides, necesitamos datos concretos para diseñar un sistema que pueda proteger la Tierra frente a los asteroides.

Hombre precavido vale por dos: inspección de los NEO para proteger la Tierra

Los astrónomos tienen un plan que ayudaría a diseñar un sistema que pueda proteger la Tierra de asteroides rebeldes:

1. **Hacen un censo de los NEO para asegurarse de que hemos localizado todas las rocas que tienen más de 1 kilómetro de tamaño en nuestra zona del Sistema Solar.**

Los NEO de este tamaño se pueden convertir en asteroides potencialmente peligrosos si sus órbitas les acercan a la Tierra.

2. **Hacen un seguimiento de estos NEO y calculan sus órbitas para determinar si es probable que choquen contra la Tierra en un futuro.**
3. **Estudian las propiedades físicas de los asteroides para descubrir lo máximo sobre ellos.**

Por ejemplo, hacen observaciones telescópicas para determinar de qué tipo de roca o metal están formados.

4. **Cuando los astrónomos conocen la amenaza, un equipo de ingeniería puede diseñar una misión espacial para contraatacarlo.**



Para examinar los NEO, existen telescopios especializados en el descubrimiento de asteroides. Puedes visitar sus webs y ver sus recientes descubrimientos. Éstos son los proyectos más importantes:

- ✓ El programa LINEAR (Lincoln Near Earth Asteroid Research, programa de Investigación de Asteroides Cercanos a la Tierra), en White Sands Missile Range, Nuevo México, con el apoyo de las fuerzas aéreas de Estados Unidos y la NASA (www.ll.mit.edu/mission/space/linear).
- ✓ El proyecto para el seguimiento de asteroides cercanos a la Tierra NEAT (Near-Earth Asteroid Tracking) de la NASA, que observa desde el Maui Space Surveillance Site de Hawái y el Observatorio Palomar de California (<http://neat.jpl.nasa.gov>).

Los astrónomos encuentran NEO y determinan sus órbitas. Entonces los expertos pueden calcular la probabilidad de que un asteroide choque contra la Tierra en un futuro próximo. Pero (y esto puede que te sorprenda) no hay nadie encargado de reaccionar ante la amenaza de colisión de un asteroide si llegara el caso. Los departamentos de Defensa y los mandos militares de todo el mundo son responsables de proteger sus territorios nacionales y (en ocasiones) los territorios de las naciones aliadas. Pero ninguna agencia espacial ni fuerza armada tiene la misión de defender la Tierra contra una amenaza del espacio. Esperemos que se establezca una agencia de protección y que reciba las competencias y recursos necesarios antes de que todos la necesitemos. De lo contrario, estaremos realmente entre la espada y la pared.

En busca de pequeños puntos de luz



Buscar asteroides es como mirar el cielo con atención para buscar cometas (consulta el capítulo 4), pero en lugar de una imagen borrosa buscas un pequeño punto de luz que parece una estrella. Pero, a diferencia de una estrella, un asteroide se mueve de forma perceptible contra el fondo de otras estrellas hora tras hora y noche tras noche.



Puedes ver los asteroides más grandes, como Ceres y Vesta, a través de telescopios pequeños; las revistas de astronomía publican notas breves y

mapas celestes para indicarte con antelación cuáles son los periodos buenos de observación (en general, no hay un mejor momento del día o del año para ver asteroides). La mayoría de los *softwares* de planetario (y de aplicaciones de *smartphone*) muestran mapas celestes que indican la ubicación de los asteroides. (Consulta el capítulo 2 para obtener más información sobre revistas, aplicaciones y programas de planetario; consulta el capítulo 3 para saber más sobre los telescopios.)

Hasta que no tengas años de experiencia, no estarás preparado para buscar asteroides desconocidos o “nuevos” de forma sistemática. Los aficionados avanzados buscan asteroides nuevos con cámaras electrónicas acopladas a sus telescopios. Recogen una serie de imágenes de zonas seleccionadas del cielo, en general, en dirección opuesta al Sol (que, evidentemente, está por debajo del horizonte). Cuando ven un pequeño punto de luz (que parece una estrella) que cambia de ubicación, probablemente están viendo un asteroide.

La actividad para principiantes relacionada con asteroides consiste en intentar observar sus ocultaciones. Una *ocultación* es un tipo de eclipse que se da cuando un cuerpo en movimiento del Sistema Solar pasa por delante de una estrella. Los cuerpos responsables pueden ser la Luna (ocultación lunar), las lunas de otros planetas (ocultación de satélite planetario), los asteroides (ocultación asteroidal) o los planetas (ocultación planetaria). Los cometas y los anillos de los planetas también pueden causar ocultaciones. Una ocultación no es nada espectacular: durante el eclipse, ves desaparecer la estrella unos instantes.

Puedes disfrutar de una ocultación asteroidal sin obtener datos científicos, pero, ¡vaya desperdicio de una oportunidad única! Los detalles de la ocultación difieren de un lugar a otro de la Tierra. Por ejemplo, la misma ocultación puede durar más tiempo vista desde un punto de la Tierra que desde otro, o puede que no se produzca en un sitio concreto. Por eso, en algunos puntos, ves que la estrella está siendo eclipsada y, en otros, ves la estrella sin eclipse. A partir de los datos de la ocultación, los astrónomos pueden conseguir una imagen más precisa de algunos objetos celestes. Por ejemplo, en ocasiones, las ocultaciones revelan que lo que parece una estrella ordinaria es, en realidad, un *sistema binario* estrecho (es decir, dos estrellas en órbita alrededor de un centro de masa común; consulta el capítulo 11 para obtener más información sobre las estrellas binarias).

En los siguientes apartados te indico cómo hacer el seguimiento y controlar el tiempo de una ocultación asteroidal.

Cómo hacer el seguimiento de una ocultación



Las ocultaciones asteroidales son mucho más difíciles de observar que las ocultaciones lunares porque a menudo los astrónomos no pueden predecirlas con precisión. Los astrónomos van a varios puntos de la *trayectoria predicha de la ocultación* (una franja estrecha que cruza la superficie de la Tierra en la que los astrónomos esperan que la ocultación sea visible, como la franja de totalidad en un eclipse de Sol, que describo en los capítulos 2 y 5) e intentan observar ocultaciones asteroidales. Sin embargo, como los diámetros, órbitas y formas de la mayoría de los asteroides no se conocen con precisión, las predicciones no pueden ser exactas. Dado que la ocultación puede ser visible en algunos lugares y en otros no, los astrónomos necesitan voluntarios que controlen una ocultación asteroidal desde distintos puntos. Las observaciones de los aficionados ayudan a determinar el tamaño y la forma de los asteroides que las originan. Tú también puedes participar.



Informa de tus observaciones a la IOTA (International Occultation and Timing Association); consulta su página, www.occultations.org. En su web puedes descargar el *Manual para Observadores de la IOTA* gratuito y rellenar y enviar un formulario para informar sobre ocultaciones asteroidales. El sitio web de la IOTA se actualiza regularmente para proporcionar las últimas predicciones de ocultaciones por parte de asteroides y otros objetos, así que no te olvides de visitarlo con asiduidad.



La IOTA recomienda que empieces a estudiar la ocultación haciendo observaciones con un astrónomo experimentado, para cogerle el tranquillo. ¡Seguro que disfrutarás al máximo!

Cómo controlar el tiempo de una ocultación asteroidal



Para que tu observación de asteroides sea útil desde un punto de vista científico, tienes que cronometrar con precisión y conocer la ubicación exacta (latitud, longitud y altitud) de la ocultación que estés estudiando. En el pasado, los observadores averiguaban su ubicación consultando mapas topográficos. Hoy en día, puedes utilizar un GPS o una aplicación para *smartphone* que te permita determinar las coordenadas de tu lugar de observación.

Capítulo 8

Grandes bolas de gas: Júpiter y Saturno

En este capítulo

- ▶ Comprenderás la composición de los planetas gigantes gaseosos
 - ▶ Verás la Gran Mancha Roja y las lunas de Júpiter
 - ▶ Observarás los anillos y las lunas de Saturno
-

Júpiter y Saturno, situados más allá de Marte y el cinturón de asteroides, son de las mejores vistas que se pueden obtener a través de un telescopio pequeño. Como mínimo uno de ellos suele estar bien situado para que podamos observarlo. Las cuatro lunas más grandes de Júpiter y los famosos anillos de Saturno son los objetivos favoritos cuando los aficionados a la astronomía dejan mirar por el telescopio a amigos y familiares. Y, a pesar de que quizá no puedas verla con el telescopio, la ciencia que se esconde detrás de estos planetas enormes y de sus satélites también resulta fascinante. En este capítulo, describo las vistas magníficas que puedes observar a través de tu telescopio y te doy la información básica sobre los dos planetas más grandes de nuestro Sistema Solar.

¡Cuánta presión! Viaja por el interior de Júpiter y Saturno

Júpiter y Saturno son como salchichas que llevan colorantes alimentarios no autorizados. El misterio no es la carne, sino los aditivos. Lo que ves en las fotografías de Júpiter y Saturno hechas con telescopio son las nubes, formadas por hielo de amoníaco, agua helada (como los cirros que hay sobre la Tierra), y un compuesto llamado hidrosulfuro de amonio. También puede que haya nubes de gotas de agua. Pero las apariencias engañan. Estas nubes están formadas sólo por pequeñas trazas de esas sustancias. La mayor parte de Júpiter y Saturno está constituida por hidrógeno y helio, como el Sol. A pesar de las abundantes teorías,

los científicos no tienen pruebas de qué hace que la Gran Mancha Roja de Júpiter sea roja ni de qué produce los otros tonos blanquecinos de las nubes de los dos grandes planetas.

Júpiter y Saturno son los más grandes de los cuatro planetas gaseosos gigantes (los otros son Urano y Neptuno). Júpiter tiene trescientas dieciocho veces la masa de la Tierra; Saturno supera la masa de la Tierra unas noventa y cinco veces. En consecuencia, su gravedad es enorme y, en el interior de los planetas, el peso de tantas capas produce una enorme presión. Descender a Júpiter o Saturno es como hundirse en el mar profundo. Cuanto más hacia abajo se va, mayor será la presión. Y, a diferencia del mar, la temperatura aumenta radicalmente con la profundidad. Ni se te ocurra bucear ahí.

En los niveles más altos de la atmósfera en los que pueden ver los astrónomos, la capa superior de las nubes, las temperaturas descienden hasta los -149°C en Júpiter y los -178°C en Saturno. Sin embargo, a gran profundidad, hay mucha presión. Para cuando llegues a los 10.000 kilómetros por debajo de las nubes en Júpiter, la presión aumenta un millón de veces la presión barométrica a nivel del mar en la Tierra. ¡Y la temperatura es igual a la de la superficie visible del Sol! No obstante, Júpiter es mucho más raro que el Sol. La densidad del espeso gas a esta profundidad es mucho mayor que en la superficie solar y el gas caliente de hidrógeno se comprime de manera que se comporta como un metal líquido. Las corrientes en espiral de este hidrógeno en forma de metal líquido generan potentes campos magnéticos en Júpiter y Saturno que llegan a grandes distancias en el espacio.

Júpiter y Saturno brillan intensamente en luz infrarroja, cada uno de ellos genera casi tanta energía como la que recibe del Sol (en cambio, la Tierra consigue casi toda su energía del Sol). El calor ascendente, junto al calor generado por los rayos del Sol que brillan desde arriba, activa sus atmósferas y produce corrientes en chorro, huracanes y otros tipos de tormentas atmosféricas que cambian continuamente el aspecto de estos planetas.

Casi una estrella: observa Júpiter



Júpiter tiene alrededor de una milésima parte de la masa del Sol. A veces, los científicos se refieren a este planeta llamándolo “la estrella que fracasó”. Si tuviera ochenta o noventa veces más masa, la temperatura y la presión de su centro serían tan elevadas que la fusión nuclear empezaría y se podría mantener. Júpiter brillaría con su propia luz, ¡y se convertiría en una

estrella!

Júpiter tiene un diámetro de unos 143.000 kilómetros, que es unas once veces superior al de la Tierra. El gigante gaseoso gira a una velocidad enorme, y da una vuelta completa en sólo 9 horas, 55 minutos y 30 segundos. De hecho, Júpiter gira tan de prisa que la rotación hace que sobresalga en el ecuador y que esté achatado en los polos. Con una visión clara en aire estable, puedes detectar esta forma *achatada* a través de tu telescopio.



La rápida rotación produce bandas de nubes en cambio constante, paralelas al ecuador de Júpiter. En realidad, lo que ves a través de tu telescopio cuando miras Júpiter es la parte superior de las nubes del planeta. En función de las condiciones de observación, el tamaño y la calidad de tu telescopio y las circunstancias de Júpiter, puedes ver desde una hasta incluso veinte bandas de nubes (consulta la figura 8-1).



Cortesía de la NASA

Figura 8-1:

Júpiter y sus bandas de nubes inducidas por la rotación

Las bandas más oscuras de nubes de Júpiter reciben el nombre de *cinturones*; y las bandas más claras, el de *zonas*. Cuando miras a través de un telescopio, Júpiter parece un disco circular. Justo en el centro del disco se encuentra la zona ecuatorial flanqueada por los cinturones ecuatoriales norte y sur. En el cinturón del sur, puedes ver la Gran Mancha Roja de Júpiter, que suele ser el rasgo más evidente de Júpiter. Esta perturbación atmosférica, que a veces se compara con un gran huracán, ha flotado en la atmósfera de Júpiter como mínimo durante ciento veinte años. De hecho, la Gran Mancha Roja de Júpiter pudo haber sido observada en 1664, y, de haberlo sido, se apagó antes de volver a aparecer en el siglo XIX.



Júpiter es fácil de encontrar porque, al igual que Venus (consulta el capítulo 6), brilla con más intensidad que cualquier otra estrella en el cielo (una pequeña excepción: cuando su órbita llega a la parte más alejada del Sol, Júpiter puede que sea ligeramente menos brillante que la estrella más brillante, Sirio). Si dispones de un telescopio informatizado que pueda apuntar a una posición del planeta, a veces, puedes ver Júpiter durante el día. En circunstancias excepcionales, durante el día puedes localizar Júpiter con unos prismáticos o a simple vista. Un cielo azul oscuro con poco o sin polvo en suspensión también ayuda. Te serán útiles las aplicaciones de *smartphone* como Google Sky Map o Sky Safari (que describo en el capítulo 2).

Cuando puedas localizar Júpiter con facilidad, estarás listo para hacer observaciones un poco más detalladas. Te facilito instrucciones para ver los rasgos y las lunas del planeta en los siguientes apartados.

Busca la Gran Mancha Roja de Júpiter

La Gran Mancha Roja de Júpiter, que muestra la figura 8-2, es una tormenta tan grande como la Tierra y, a veces, más grande, situada en el cinturón ecuatorial sur. Como la mayoría de las características de Júpiter, puede cambiar de un día para otro. Su color puede ser más claro o más oscuro. Las nubes blancas, que son lo suficientemente grandes para verse con algunos telescopios de aficionados, se forman cerca de la mancha y se mueven a lo largo del cinturón ecuatorial sur. En ocasiones, una nube que está en el cinturón ecuatorial sur o en algún otro cinturón parece recorrer el planeta sin fin, y se estira sobre todo longitudinalmente. Una nube con esta forma alargada se conoce como

festón. ¡Este fenómeno es realmente una fiesta!



Si al principio no ves la Gran Mancha Roja de Júpiter, puede ser porque tenga un color pálido, pero es más probable que haya rotado hasta el lado posterior de Júpiter. Tendrás que esperar a que Júpiter vuelva a rotar. Si vas observando los rasgos de Júpiter a intervalos de una hora o dos durante la noche, puedes ver la mancha y otras características menores moverse a través del disco del planeta a medida que Júpiter va rotando.

En los primeros años de la década de los noventa, el cinturón ecuatorial sur parecía desaparecer de la noche a la mañana y volver a aparecer más tarde. Desde entonces, este cinturón se ha apagado y vuelto a aparecer varias veces. En ocasiones, los aficionados a la astronomía son los primeros que ven fenómenos asociados al cinturón ecuatorial sur. Mientras disfrutas del espectáculo de los cinturones y las manchas de Júpiter, ten los ojos bien abiertos por si ves algo nuevo.



Cortesía de la NASA

Figura 8-2:

La Gran Mancha Roja de Júpiter es una visión apasionante

Los accesorios invisibles de Júpiter

¿Sabías que Júpiter tiene unos delgados anillos formados por partículas de roca, quizá fragmentos diminutos de peñascos? A diferencia de los famosos anillos de Saturno, los accesorios de Júpiter son oscuros, lo que los hace invisibles si se quieren ver a través de telescopios de aficionados. De hecho, los anillos son difíciles de ver a través de prácticamente cualquier telescopio, excepto el *Hubble*, y la mejor forma de observarlos es utilizando los instrumentos que llevan las sondas espaciales hasta Júpiter.

Existen partículas microscópicas de los anillos que se disipan en un denso halo en el interior de éstos, que rodea y quizá se funde con la parte superior de la atmósfera de Júpiter.

La sonda *Galileo* de la NASA, que operó alrededor de Júpiter de 1995 a 2003, obtuvo magníficas imágenes de los anillos. Puedes encontrar imágenes de los anillos de Júpiter y más en el sitio web Planetary Photojournal de la NASA, <http://photojournal.jpl.nasa.gov/index.html>. Basta con hacer clic en la imagen de Júpiter y seguir los enlaces.

A la caza de las lunas de Galileo

Siempre que la observación sea buena, tu telescopio revelará estructuras en las capas más altas de las nubes de Júpiter (cinturones, zonas, manchas y quizá más elementos) y puede que veas una o más de las cuatro grandes lunas del planeta: Ío, Europa, Ganimedes y Calixto. (Puedes ver una foto de Júpiter y de estas lunas en la galería de nuestra página web.)



Las cuatro lunas destacadas de Júpiter (hasta marzo de 2012 se habían contado 62 lunas más pequeñas) reciben el nombre de *lunas galileanas*, o *satélites galileanos*, en honor a Galileo, su descubridor. Cada una de las cuatro grandes lunas orbita casi exactamente en el plano ecuatorial de Júpiter, de manera que cada luna siempre está justamente por encima de algún punto del ecuador de Júpiter. Cualquier telescopio que merezca la pena permite ver las lunas galileanas, y muchas personas incluso pueden ver dos o tres de estas lunas con unos buenos prismáticos. Sin embargo, Ío, la luna galileana más interior, es difícil de ver con prismáticos porque orbita muy cerca del gran planeta brillante.

Con tu telescopio no puedes ver suficientes detalles de ninguna de las lunas de Júpiter como para imaginarte cómo son sus superficies, pero puedes notar diferencias en su brillo y, con un estudio cuidadoso, quizá también en sus colores.

Si miras imágenes de las lunas galileanas tomadas por una sonda espacial, puedes ver que cada luna es un pequeño mundo en sí mismo, con una composición y paisaje que le aportan un carácter único. (Consulta el apartado “Controla el tiempo para ver la luna”, más adelante en este capítulo, para conocer webs en las que puedas ver las imágenes.)

Para obtener información básica sobre las cuatro lunas mayores, consulta la siguiente lista:

- ✓ **Calixto:** Calixto tiene una superficie oscura marcada por muchos

cráteres blancos. La superficie probablemente esté formada por hielo sucio, una mezcla de hielo y roca. Los impactos de asteroides, cometas y grandes meteoroides han expuesto el hielo limpio subyacente; de aquí los cráteres blancos.

- ✓ **Europa:** Esta luna tiene un terreno accidentado que parece formado por masas de hielo. La superficie puede ser una corteza helada que llena hasta el borde un océano de agua y aguanieve, quizá de 150 kilómetros de profundidad. Europa es uno de los cinco sitios del Sistema Solar fuera de la Tierra en el que los científicos tienen pruebas contundentes de la existencia de agua líquida en el subsuelo (los otros son Ganimedes, Calixto y las lunas de Saturno, Titán y Encélado).
- ✓ **Ganimedes:** Sus 5.262 kilómetros de diámetro hacen que Ganimedes sea la mayor luna del Sistema Solar (incluso más que Mercurio, que tiene 4.879 kilómetros de diámetro). La superficie con manchas de Ganimedes está formada por terrenos claros y oscuros, quizá hielo y roca, respectivamente. La marca más destacable es Valhalla, una cuenca de impacto con enormes anillos, tan grande como Estados Unidos continental (a juzgar por el tamaño por su cordillera exterior).
- ✓ **Ío:** La superficie de esta luna está salpicada por más de cuatrocientos volcanes. Aparte de la Tierra, es el único lugar en el que tenemos pruebas concluyentes de vulcanismo constante tal y como lo conocemos en la Tierra, con lava caliente que emerge desde el subsuelo. (De todas formas, consulta mi descripción de la luna de Saturno, Encélado, más adelante en este capítulo, para ver un caso de vulcanismo helado.) Ío no tiene cráteres de impacto visibles porque la lava de los omnipresentes volcanes ha cubierto todos los puntos de colisión.

A pesar de que no puedas disfrutar del tipo de observación cercana que se logra con un sofisticado equipo espacial, con tu telescopio puedes observar algunos aspectos interesantes de estas lunas mientras orbitan alrededor de Júpiter. En los siguientes apartados comento fenómenos que pueden afectar a tu visión de las lunas, como ocultaciones, tránsitos y eclipses.

Cómo reconocer los movimientos de las lunas

Ío, Ganimedes, Europa y Calixto siempre están moviéndose y cambiando sus posiciones relativas, apareciendo y desapareciendo mientras giran en torno a Júpiter. A veces, puedes verlos a todos y a veces no. Si no puedes ver una de las

lunas, aquí tienes algunas explicaciones posibles:

- ✓ Puede que se esté produciendo una *ocultación*, fenómeno que se da cuando una de las lunas pasa por detrás del limbo de Júpiter (el extremo del disco que ves a través del telescopio).
- ✓ La luna puede estar en un *eclipse*, que se da cuando ésta se mueve hasta la sombra de Júpiter. Como la Tierra a menudo está a un lado de la línea recta que une el Sol con Júpiter, la sombra de Júpiter se puede extender a un lado vista desde la Tierra. Cuando tienes una luna a la vista separada del limbo de Júpiter y, de repente, se atenúa y desaparece, significa que se ha movido hasta la sombra del planeta.
- ✓ La luna puede estar *en tránsito* a través del disco de Júpiter; en ese momento, la luna es particularmente difícil de ver porque las lunas son de color pálido, lo que hace que sean difíciles de detectar contra la atmósfera de nubes de Júpiter. De hecho, una luna en tránsito puede ser mucho más difícil de distinguir que su sombra.



También puedes observar una *sombra de luna*, que se da cuando una de las lunas está entre el Sol y Júpiter y hace sombra en el planeta. La sombra es una mancha negra, mucho más oscura que cualquier rasgo de una nube, que se mueve atravesando el planeta. La luna que proyecta la mancha puede estar en tránsito en ese momento, pero no siempre es así. Cuando la Tierra está muy alejada de la línea Sol-Júpiter, puedes ver una luna fuera del extremo de Júpiter haciendo una sombra en el planeta.

Controla el tiempo para ver la luna



La revista *Sky & Telescope* ofrece un calendario mensual de las ocultaciones, eclipses, fenómenos de sombras y tránsitos de las cuatro lunas galileanas. Tanto esta revista como *Astronomy* publican un gráfico mensual en el que se muestran las posiciones de las cuatro lunas respecto al disco de Júpiter

noche tras noche. (Consulta el capítulo 2 para obtener más información sobre revistas de astronomía.) Puedes saber qué luna es comparando el gráfico con lo que ves en el telescopio.



Quando observes las lunas de Júpiter, recuerda estas reglas generales:

- ✓ Las cuatro lunas galileanas orbitan alrededor de Júpiter en la misma dirección. Cuando las ves en la cara visible respecto a la Tierra, se mueven de este a oeste; cuando orbitan por la cara lejana, viajan de oeste a este.
- ✓ Una luna en tránsito se mueve hacia el oeste, y una luna que está a punto de ser ocultada o eclipsada se dirige al este (siguiendo las direcciones geográficas este-oeste en el cielo de la Tierra).

Cometas a distancias asombrosas

En contadas ocasiones, un cometa o un asteroide choca contra Júpiter, lo que puede provocar una mancha oscura temporal encima de los cinturones de nubes que puede durar meses. Los científicos lo desconocían hasta julio de 1994, cuando grandes fragmentos del cometa *Shoemaker-Levy 9* chocaron contra Júpiter. Desde entonces, los astrónomos han revisado datos del pasado sobre las marcas de Júpiter y han descubierto algunos accidentes geográficos sospechosos que pueden haber sido creados de esa forma.

Desde 1994, los astrónomos saben que si aparece una mancha oscura en Júpiter, puede haber sido producida por escombros de un objeto de impacto. Es decir, no es únicamente una formación más de nubes en el planeta. En julio de 2009, el astrónomo aficionado Anthony Wesley descubrió una mancha reciente en Júpiter con su telescopio de 36 centímetros cerca de Canberra (Australia). Alertó a los científicos y el telescopio espacial *Hubble* fotografió la mancha, que medía 8.000 kilómetros de ancho (el cuerpo de impacto era menor, como una casa en llamas que puede parecer pequeña por la nube de humo que produce). En junio de 2010, Wesley observó un breve destello de luz cerca del límite del disco de Júpiter. Era el resplandor de una gran caída de meteoritos sobre Júpiter, y otro aficionado de Filipinas lo

grabó en vídeo. Mantén los ojos (¡y el telescopio!) abiertos por si aparecen elementos extraordinarios mientras observas a Júpiter.

Si observas algo nuevo y apasionante en Júpiter o Saturno (que describo a continuación), envía un informe al IOPW (International Outer Planet Watch). Su web es <http://atmos.nmsu.edu/ijw/ijw.html>, a la sección dedicada a Júpiter de la Asociación de Observadores Planetarios y Lunares (www.alpoastronomy.org/Jupiterblog) o a la sección de Júpiter de la Asociación Astronómica Británica (www.britastro.org/Jupiter). Visita estas webs para obtener información útil sobre observaciones, así como informes recientes acerca de Júpiter.

Con condiciones de observación excelentes, puedes distinguir una o dos marcas en Ganímedes, la mayor luna galileana, con un telescopio de 15 centímetros o mayor. (Consulta el capítulo 3 para obtener información sobre telescopios.) Para ver los detalles de la superficie, necesitas la imagen de una nave espacial interplanetaria que haya visitado el sistema de Júpiter.



Las mejores imágenes de Júpiter y sus lunas las han obtenido las sondas espaciales *Galileo* y *Voyager 1* y 2 y el telescopio espacial *Hubble*:

- ✓ Puedes encontrar las imágenes de las sondas *Galileo* en <http://solarsystem.nasa.gov/galileo/gallery/ind>. En esa web, basta con hacer clic en la imagen de Júpiter o en una de sus lunas para ver las imágenes de ese objeto.
- ✓ Las imágenes de los *Voyager* y de otras fuentes se encuentran en la web Planetary Photojournal de la NASA: <http://photojournal.jpl.nasa.gov>. Cuando veas los planetas, haz clic en la imagen de Júpiter.
- ✓ Para ver imágenes del telescopio *Hubble*, examina la colección del Space Telescope Science Institute, en <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/system/Jupiter>. La sonda más nueva de Júpiter, Juno, está de camino al planeta, y su llegada está prevista para agosto de 2016. Puedes ver cómo avanza en la web

Nuestra atracción planetaria principal: céntrate en Saturno

Saturno es el segundo mayor planeta de nuestro Sistema Solar, con un diámetro de unos 121.000 kilómetros. La mayoría de la gente está familiarizada con Saturno por sus característicos anillos. Durante siglos, los astrónomos pensaron que Saturno era el único planeta que tenía anillos. Hoy en día sabemos que los anillos rodean a los cuatro planetas gaseosos gigantes: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Sin embargo, la mayoría de los anillos son demasiado tenues para que podamos verlos con telescopios desde el suelo. La gran excepción es Saturno.

Según afirman muchos observadores, Saturno es el planeta más bonito. Sus famosos anillos se pueden ver usando prácticamente cualquier telescopio, y, además, también se puede observar la luna gigante de Saturno, Titán. Muchos astrónomos creen que los anillos de Saturno son la visión celeste que más impresiona a sus amigos no astrónomos, pero Titán es una atracción que también vale la pena.

En los siguientes apartados, proporciono información sobre cómo observar las lunas, las tormentas y los anillos de Saturno. No te olvides de ver las imágenes de Saturno que encontrarás en la web www.para.dummies.es.

Disfruta de los anillos de Saturno

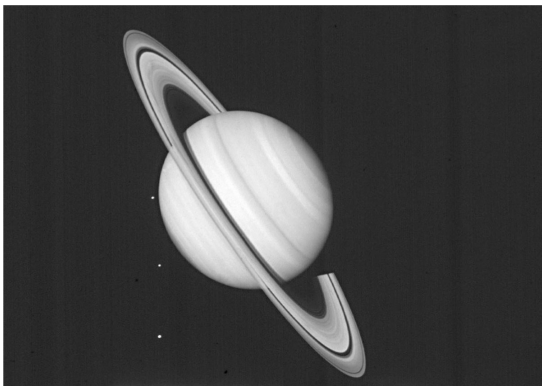


Los anillos de Saturno suelen ser fáciles de identificar porque son grandes y están compuestos por brillantes partículas de hielo (millones de pequeños fragmentos de hielo, algunas bolas de hielo más grandes y quizá algunas piezas del tamaño de fragmentos de roca grandes). Puedes disfrutar de los anillos a través de un telescopio pequeño y divisar sus sombras en el disco de Saturno (consulta la figura 8-3). Si las condiciones de observación son excelentes, también se puede ver la *división de Cassini*, un espacio que separa los anillos de Saturno y que se llama así en honor a Giovanni Cassini, la persona que la detectó por primera vez.

Los anillos de Saturno miden más de 200.000 kilómetros de ancho, pero tienen un grosor de sólo unos metros. Según estas proporciones, los anillos son como

“una capa de papel de pañuelo estirada por todo un campo de fútbol” como escribió el profesor Joseph Burns de la Universidad de Cornell. Pero, aunque proporcionalmente los anillos sean tan finos como un pañuelo de papel, no te gustaría sonarte la nariz con ellos. Meterte hielo por las fosas nasales puede que te relaje más que esnifar pegamento, pero no te lo recomiendo.

Saturno gira una vez cada 10 horas, 39 minutos y 22 segundos y es más achatado por los polos que Júpiter. Los anillos tienden a engañar a la vista, por eso puede ser complicado observar la forma aplastada de Saturno.



Cortesía de la NASA

Figura 8-3:

Los anillos de Saturno están formados por fragmentos de hielo y roca

Los anillos son muy grandes, pero muy finos. Mantienen una orientación fija, señalando de forma oblicua a una dirección en el espacio. Todos los años, hay un momento determinado en el que los anillos están más ladeados de lo normal, tal y como se ven desde la Tierra, y tres meses después están en el punto de máxima inclinación respecto a cómo suelen estar.

Mientras Saturno sigue su órbita, de treinta años, hay veces que sus anillos están totalmente de canto y parecen desaparecer al observarlos a través de telescopios pequeños (y, a veces, incluso de los grandes). No puedes ver los anillos cuando sus bordes están delante de la Tierra porque son extremadamente

finos. En esas ocasiones, con un telescopio potente, puedes ver los anillos proyectados como una línea oscura contra el disco de Saturno. Los anillos desaparecieron por última vez en el año 2009 y volverán a desaparecer en 2025.

Caza tormentas en Saturno

Saturno tiene cinturones y zonas igual que Júpiter (consulta el apartado “Casi una estrella: observa Júpiter” anteriormente en este capítulo), pero los de Saturno tienen menos contraste y son más difíciles de ver. Búscalos cuando haya buenas condiciones atmosféricas y puedas utilizar un ocular de alta potencia en tu telescopio para ver detalles planetarios.



Alrededor de una vez cada veinte o treinta años aparece una gran nube blanca, o “gran tormenta blanca” en el hemisferio norte de Saturno. Vientos a gran velocidad extienden la nube hasta formar una banda brillante y densa que rodea por completo al planeta. Al cabo de unos meses, puede que desaparezca. A veces, los aficionados a la astronomía son los primeros que detectan una tormenta nueva en Saturno. La última gran tormenta blanca empezó en 2010, así que deberás esperar bastante para ver otra. Mientras, abre bien los ojos por si ves nubes blancas más pequeñas que puedan crecer y extenderse alrededor del planeta.

Cómo controlar una luna de grandes proporciones

Titán, la luna más grande de Saturno, es más grande que Mercurio. Su diámetro es de 5.150 kilómetros. Algunas lunas grandes tienen atmósferas tenues, pero la de Titán es densa y brumosa, y está formada por nitrógeno y pequeñas cantidades de distintos gases como el metano. Es difícil ver a través de la atmósfera de Titán, pero en 2004 la sonda espacial *Cassini* de la NASA empezó a trazar un mapa de la superficie de Titán con luz infrarroja (buena para penetrar en la niebla) y radar (incluso mejor). El 14 de enero de 2005, la sonda *Huygens* de la Agencia Espacial Europea aterrizó en Titán. Casi todo lo que sabemos sobre esta extraordinaria luna procede de la *Cassini* y la *Huygens*.

Gran parte de la superficie de Titán es relativamente plana y homogénea. En latitudes elevadas, este satélite tiene lagos de hidrocarburos líquidos, probablemente etano y metano (los hidrocarburos son compuestos químicos formados por átomos de hidrógeno y carbono; en la Tierra, se dan de forma

natural en el petróleo crudo que procede del suelo). En nuestro planeta, tenemos el *ciclo del agua*, en el que el agua cae en forma de lluvia hasta el suelo; fluye en ríos, lagos y mares; se evapora como vapor de agua; y sube por la atmósfera, desde donde vuelve a caer en forma de lluvia. Titán tiene un ciclo similar, pero con lluvia de metano, lagos de metano y metano gaseoso. Titán es tan frío que cualquier agua allí está permanentemente congelada. Algunos hidrocarburos también se congelan: en los puntos secos de Titán, hay dunas de “arena”, pero no están formadas por partículas de roca, como las dunas de arena terráqueas. Lo más seguro es que las dunas de Titán estén compuestas por partículas de hidrocarburos congeladas (quizá tengas algunos hidrocarburos sólidos en casa, como poliestireno, el plástico utilizado para las tazas desechables para tomar bebidas calientes).

Si en la superficie de Titán hubiera agua, estaría congelada. En 2012, la *Cassini* descubrió que hay un océano de agua a unos 96 kilómetros por debajo de la superficie de Titán, donde las condiciones son más cálidas.

¿En qué consiste una luna críptica?

Uno de los descubrimientos más interesantes de la sonda *Cassini* fue la existencia de fumarolas en la región polar sur del satélite Encélado de Saturno. Vapor de agua, partículas de hielo y otras sustancias salen de las fumarolas, como versiones frías de los géiseres de vapor caliente del Parque Nacional de Yellowstone. La erupción de material helado como éste recibe el nombre de *criptovulcanismo*. Los astrónomos llegaron a la conclusión de que los géiseres de Encélado se alimentan desde un cuerpo de agua líquida de la subsuperficie de la luna que es lo suficientemente cálido para albergar vida, si es que algo vive allí. Los cristales de hielo de los géiseres cubren la superficie de Encélado, lo que lo hace ser especialmente brillante. Algunas partículas de hielo son propulsadas hacia el espacio, donde se fusionan con uno de los anillos de Saturno.



Con un buen telescopio pequeño, puedes ver Titán. Puede que seas capaz de ver otras dos de las lunas de Saturno, Rea y Dione, cuando están cerca de sus máximas elongaciones del planeta. (Consulta el capítulo 6 para obtener más información sobre elongaciones.) Puedes encontrar un gráfico mensual de las ubicaciones de estas lunas respecto al disco de Saturno en la revista *Sky & Telescope*. Utiliza los gráficos para planificar tus observaciones. En marzo de 2012, se conocían 62 lunas de Saturno, la mayoría demasiado pequeñas

para poder ser vistas a través de telescopios de aficionados.



La sonda *Cassini* sobrevuela Saturno y sus lunas, en una misión que debería durar, como mínimo, hasta 2017. Puedes ver imágenes y otros datos que envía *Cassini* en la página Cassini Solstice Mission, <http://Saturno.jpl.nasa.gov>, y en la web del CICLOPS (Laboratorio Central de Operaciones e Imágenes de Cassini), www.ciclops.org.



Las lunas por nacimiento y las lunas convertidas orbitan en armonía

Hay dos tipos de lunas: las normales y las demás. Las lunas normales orbitan en el plano ecuatorial de sus planetas, y todas orbitan en la dirección en la que los planetas giran sobre sus ejes. Esta dirección recibe el nombre de *movimiento progrado*. Lo más seguro es que las lunas normales se formasen en un lugar alrededor de Júpiter y Saturno, a partir de un disco ecuatorial de materia protoplanetaria y protolunar. Así, Júpiter y Saturno, junto a sus muchas lunas, son como sistemas solares en miniatura centrados en grandes planetas en lugar de estrellas.

En cambio, algunas de las lunas más pequeñas son como *Elsa*, la leona que “nació libre” y que fue capturada cuando era un cachorro. Orbitan en la dirección opuesta a la dirección en la que gira el planeta. Estas órbitas se conocen como *retrógradas*, y suelen estar inclinadas respecto a los planos ecuatoriales de sus planetas. Las lunas con órbitas retrógradas se formaron en otros puntos del Sistema Solar, quizá como asteroides, y fueron capturadas por la gravedad de Júpiter y Saturno.

En marzo de 2012, Júpiter tenía 66 lunas confirmadas y Saturno, 62. Es probable que estos planetas tengan otras más de tamaño reducido, y que los astrónomos sigan descubriendo muchas de ellas. Cualquier número de lunas conocidas que encuentres en un libro puede quedar obsoleto para cuando lo leas. A veces, los astrónomos anuncian lunas, pero no las cuentan. Los funcionarios de la Unión Astronómica Internacional quieren asegurarse de que se confirman los descubrimientos. Puedes comprobar la información

más actualizada sobre los satélites naturales de Júpiter, Saturno y de otros planetas en el sitio web de la NASA dedicado a la dinámica del Sistema Solar: http://ssd.jpl.nasa.gov/?sat_discovery. Las lunas sin nombre son descubrimientos provisionales a la espera de confirmación.

Capítulo 9

Lejos, muy lejos... Urano, Neptuno, Plutón y más allá

En este capítulo

- ▶ Entenderás cómo son los planetas gaseosos, acuosos y rocosos Urano y Neptuno
 - ▶ Redefinirás la naturaleza de Plutón
 - ▶ Visualizarás el Cinturón de Kuiper
 - ▶ Observarás el Sistema Solar exterior
-

A pesar de que Marte y Venus estén más cerca de la Tierra, y de que Júpiter y Saturno sean los planetas más brillantes y llamativos, observar los planetas exteriores es una experiencia mística que ofrece sus propias recompensas. En este capítulo se incluye una introducción a los dos planetas más exteriores de nuestro Sistema Solar, Urano y Neptuno, y se describe Plutón (que ahora se considera un planeta enano). También se incluye información sobre las lunas de Urano, Neptuno y Plutón; se ofrecen consejos útiles para observar estos mundos lejanos y se incluyen detalles sobre el Cinturón de Kuiper.

Rompamos el hielo con Urano y Neptuno

Éstos son los aspectos más importantes de Urano y Neptuno:

- ✓ Tienen un tamaño similar, y su composición química es parecida.
- ✓ Son más pequeños y densos que Júpiter y Saturno.
- ✓ Cada planeta es el centro de un sistema en miniatura de lunas y anillos.

- ✓ Cada planeta muestra signos de una colisión con un gran cuerpo en el pasado remoto.

Las atmósferas de Urano y Neptuno, como las de Júpiter y Saturno (consulta el capítulo 8), están compuestas principalmente por hidrógeno y helio. Sin embargo, los astrónomos llaman a Urano y Neptuno *planetas de hielo* porque sus atmósferas rodean núcleos de roca y agua. El agua está a tal profundidad en el interior de Urano y Neptuno y está sometida a una presión tan elevada que está en forma de líquido caliente. No obstante, hace miles de millones de años, cuando los planetas se fusionaron y unieron a partir de cuerpos más pequeños, el agua estaba helada.



Distinguirás a un auténtico científico planetario de un lego en la materia porque el científico llamará “hielo” al agua caliente que hay en el interior de Urano y Neptuno, mientras que el lego, inocentemente, dirá “agua caliente” para referirse al agua caliente. Los científicos utilizan la jerga técnica igual que los depredadores utilizan las marcas de olor: de esa forma dejan claro que ese territorio es exclusivamente suyo.

Urano tiene alrededor de 14,5 veces la masa de la Tierra, y Neptuno es igual a 17,2 veces la Tierra, pero parece que tengan más o menos el mismo tamaño. Urano es más ligero y un poco más grande, tiene un diámetro de 51.118 kilómetros en el ecuador. El diámetro ecuatorial de Neptuno es de 49.528 kilómetros.

Un día en Urano dura unas 17 horas y 14 minutos; un día en Neptuno, 16 horas y 7 minutos. Así, igual que con Júpiter y Saturno, estos dos planetas rotan más de prisa que la Tierra. A pesar de que los días en Urano y Neptuno sean más cortos que en la Tierra, los años son mucho más largos. Urano tarda unos 84 años de la Tierra en hacer un viaje alrededor del Sol, y Neptuno tarda unos 165 años.

En los siguientes apartados te explico más hechos interesantes sobre estos planetas. No te olvides de mirar las fotos de Urano y Neptuno de nuestra página web.

¡Diana! La inclinación y los rasgos de Urano

Las pruebas de que Urano sufrió una gran colisión o encuentro gravitatorio es que el planeta parece estar inclinado de lado. El ecuador, en vez de estar más o menos paralelo al plano de la órbita alrededor del Sol, casi forma un ángulo recto

con ese plano, de manera que, según las direcciones de la Tierra, su ecuador va casi norte-sur.

A veces, el polo norte de Urano apunta hacia el Sol y la Tierra, y, a veces, el polo sur está frente a nosotros. Durante aproximadamente una cuarta parte de la órbita de 84 años de Urano alrededor del Sol, su polo norte mira más o menos hacia el Sol; aproximadamente otra cuarta parte, el polo sur mira hacia el sur; y el resto del tiempo, el Sol ilumina un amplio rango de latitudes de un polo a otro. En 2007, el Sol estaba justo encima del ecuador de Urano. Hubiera sido un buen momento para ir a la playa, si Urano tuviera una. En la Tierra, el Sol nunca está alto en el cielo en el polo norte o sur, pero en 2028, el Sol estará alto en el polo norte en Urano.

Las observaciones con el telescopio espacial *Hubble* y, antes, con la sonda *Voyager 2*, mostraron que la configuración de los cinturones de nubes de Urano es cambiante. En 2006, apareció una gran mancha oscura. Dichas configuraciones cambiantes de nubes de Urano pueden estar relacionadas con las estaciones de ese planeta.

En marzo de 2012, Urano tenía 27 lunas conocidas y una serie de anillos. Los anillos están compuestos por un material muy oscuro, probablemente roca rica en carbono, como algunos meteoritos conocidos con el nombre de *condritos carbonáceos*. Las lunas y los anillos de Urano orbitan en el plano de su ecuador, igual que las lunas galileanas orbitan en el plano ecuatorial de Júpiter (consulta el capítulo 8), de forma que los anillos y las órbitas de las lunas de Urano están casi en ángulos rectos respecto al plano de la órbita del planeta alrededor del Sol.

Básicamente, puedes imaginar que Urano y sus satélites son una gran diana que a veces está de cara a la Tierra y, a veces, no. Un gran objeto, o quizá varios, probablemente chocaron contra Urano hace tiempo y provocaron que quedara inclinado respecto a su posición natural.

A contracorriente: Neptuno y su mayor luna

Neptuno no está inclinado respecto a su estado natural; su ecuador es paralelo al plano de su órbita alrededor del Sol, o casi. Sus anillos son muy oscuros, como los de Urano, y probablemente estén compuestos por roca que contiene carbono.

En marzo de 2012, Neptuno tenía 13 lunas conocidas. La mayor, Tritón (que es más grande que Plutón), tiene un diámetro de 2.707 kilómetros. Visto desde el norte y desde arriba, Neptuno, como todos los planetas de nuestro Sistema Solar, gira en sentido contrario a las agujas del reloj alrededor del Sol. La mayoría de las lunas gira en sentido contrario a las agujas del reloj alrededor de sus planetas. Sin embargo, Tritón, que parece un melón cantalupo, según las fotos del *Voyager 2*, va a contracorriente, ya que viaja alrededor de Neptuno en el sentido de las

agujas del reloj (es decir, tiene una órbita retrógrada, término que defino en el capítulo 8). Después de meditarlo, los científicos llegaron a la conclusión de que Neptuno capturó a Tritón al principio de la historia del Sistema Solar. Las opiniones de los expertos varían, pero una de las principales teorías es que, por aquel entonces, Neptuno casi colisionó con un sistema binario de dos objetos pequeños del Cinturón de Kuiper (que comento al final de este capítulo). Neptuno absorbió a Tritón, que era una mitad del sistema binario, y el otro pequeño planeta escapó. Los astrónomos necesitan más información para comprobar esta teoría.

Tritón está formado por hielo y roca, por eso se parece más a Plutón (consulta el siguiente apartado) que Urano o Neptuno. Su superficie ha sido perfilada por erupciones y flujos de material helado y no roca caliente y fundida (es el resultado del *criovulcanismo* que describo en el capítulo 8). En Tritón, existe agua helada, hielo seco, metano helado, monóxido de carbono helado e incluso nitrógeno helado. Este satélite no tiene muchos cráteres de impacto, probablemente porque con el tiempo se llenaron de hielo.

Los grupos medioambientales afirman que el exceso de turistas pone en peligro los parques nacionales, así que plantéate si sería buena idea visitar Tritón en vez de un parque nacional. Su paisaje es igual de extraño, y quizá tan bonito, como el parque de Yellowstone. Pero, si vas a Tritón, espera un “país de las maravillas en invierno”. La superficie tiene olas de frío y no fuentes termales, y sus géiseres arrojan largas columnas de vapor frío y no chorros de vapor extremadamente calientes. Sólo tienes que llevar un traje espacial y botas para el frío.

La atmósfera de Neptuno tiene cinturones de nubes y, a veces, aparece la denominada Gran Mancha Oscura, que puede ser una tormenta enorme, parecida a la Gran Mancha Roja de Júpiter (consulta el capítulo 8). La Gran Mancha de Júpiter aparece, se apaga y vuelve a aparecer aproximadamente en el mismo sitio, del mismo cinturón de nubes. Pero la Gran Mancha Oscura de Neptuno se detectó por primera vez en el hemisferio sur del planeta en 1989, después, desapareció, y, posteriormente, se observó la llamada Gran Mancha Oscura del Norte en el hemisferio opuesto.

Conozcamos a Plutón, sea o no planeta

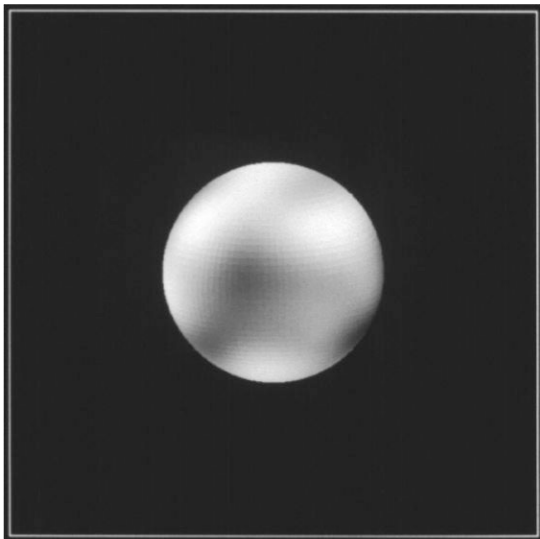
Durante décadas, los astrónomos consideraron que Plutón era el planeta más distante desde el Sol en nuestro Sistema Solar (consulta la figura 9-1). De hecho, Plutón se mueve dentro de la órbita de Neptuno durante unas cuantas décadas cada 248 años, pero el último de estos periodos acabó a principios de 1999. No volverá a darse durante la vida de nadie que habite ahora en la Tierra, a menos

que la investigación médica avance espectacularmente antes de que llegue el siglo XXIII. Pero Plutón fue degradado: el 24 de agosto de 2006, la Unión Astronómica Internacional votó a favor de considerarlo *planeta enano*.

Los planetas enanos son una nueva clase de objetos astronómicos, definidos por la Unión Astronómica Internacional como cuerpos que presentan estas características:

- ✓ Orbitan alrededor del Sol (frente a los que orbitan alrededor de otro cuerpo, como un planeta).
- ✓ Son lo suficientemente masivos para que su propia gravedad los haga esféricos.
- ✓ No han “despejado las inmediaciones” de sus órbitas.

He puesto comillas en el tercer punto porque eso es lo que dijo la Unión Astronómica Internacional, pero muchos astrónomos no creen que haya una explicación clara de lo que significa “despejar las inmediaciones” de sus órbitas. La idea general es que la gravedad de un planeta perturba los objetos que están en órbitas cercanas (pero no las lunas del planeta), de modo que los objetos (como asteroides y cometas) son arrojados a órbitas que les llevan lejos de las inmediaciones del planeta. Muchos objetos del Cinturón de Kuiper (consulta la parte final de este capítulo) están en las inmediaciones de Plutón, así que se supone que Plutón no ha despejado su zona. Sin embargo, cientos de los denominados *asteroides troyanos* están en la órbita de Júpiter y nadie niega el estatus de planeta a Júpiter. ¿La Unión Astronómica Internacional atacó a Plutón porque era demasiado pequeño para defenderse? Para obtener más información sobre esta controversia, recomiendo inmodestamente *Pluton Confidential: An Insider Account of the Ongoing Battles over the Status of Pluto*, que escribimos Laurence A. Marschall y yo (BenBella Books, 2009). Mientras, sigue pensando en Plutón, aunque sólo sea un planeta enano.



Cortesía de la NASA

Figura 9-1:

Plutón es misterioso, rocoso y de hielo

Plutón está tan lejos que los científicos no saben gran cosa de su geografía. Su órbita elíptica elongada lo lleva desde unas 29,7 UA, o 4.400 millones de kilómetros del Sol, hasta 49,5 UA, o 7.400 millones de kilómetros de distancia.



Las imágenes del telescopio espacial *Hubble* muestran zonas claras y oscuras en Plutón, que pueden corresponder a zonas de hielo reciente y

antiguo respectivamente. Pero eso es todo lo que los científicos pueden decir. Los investigadores del telescopio *Hubble* trazaron un mapa de algunas de las imágenes en un globo de Plutón. En www.hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2010/06 puedes ver una animación del globo de Plutón girando sobre su eje, que muestra la superficie del planeta enano.

En 2006, la NASA lanzó la primera sonda espacial a Plutón, llamada *New Horizons*. Llegará a Plutón en 2015 y, entonces, se dirigirá al Cinturón de Kuiper, una zona más allá de Neptuno en la que abundan los cuerpos pequeños y de hielo (si quieres ampliar esta información, consulta el apartado “Abróchate el Cinturón de Kuiper” que aparece más adelante en este capítulo). Puedes consultar el avance y los descubrimientos de esta sonda en www.nasa.gov/mission_pages/newhorizons/main/index.html.

El fragmento de una luna no flota lejos del planeta

Plutón, al igual que Urano, está inclinado de un lado. Su ecuador está inclinado unos 120° respecto al plano de su órbita. Los astrónomos suponen que Plutón, como Urano, experimentó una gran colisión. Probablemente, el cuerpo contra el que chocó procedía del Cinturón de Kuiper. El impacto afectó a Plutón y lo dejó con esa gran inclinación. Los escombros de la colisión se condensaron y formaron la gran luna de Plutón, Caronte, de forma parecida a como se cree que se formó nuestra Luna a partir de un gran impacto en la Tierra (consulta el capítulo 5).

Utilizando el telescopio espacial *Hubble*, desde 2004 los astrónomos han descubierto cuatro lunas más pequeñas de Plutón. Como mínimo tres de ellas orbitan alrededor del planeta enano en el mismo plano que Caronte y probablemente se formaron a partir del mismo impacto.

Plutón tarda 6 días, 9 horas y 18 minutos en girar una vez sobre su eje, y Caronte orbita una vez alrededor del planeta exactamente en el mismo período de tiempo. Así, los mismos hemisferios de Plutón y Caronte siempre se miran, están uno delante del otro. En el sistema Tierra-Luna, un hemisferio de la Luna siempre está de cara a la Tierra, pero no se da el caso inverso. Quien esté en la cara visible de la Luna puede ver todo el planeta durante un día terrestre, pero quien esté en Caronte nunca podrá ver más de la mitad de Plutón.

Tanto Plutón como Caronte son mundos de hielo y roca y, a diferencia de Urano y Neptuno, su hielo es de verdad, no descongelado. Su temperatura superficial es de -233°C , por lo que en Plutón se congela todo: en su superficie podemos encontrar agua helada, hielo de metano, hielo de nitrógeno, hielo de

amoníaco e incluso monóxido de carbono helado. ¡Me canso al pensarlo! En Caronte, los científicos han detectado algunas de estas sustancias, pero no todas. La atmósfera de Plutón contiene metano, nitrógeno y monóxido de carbono y cambia con el tiempo. Desde el año 2000, la atmósfera se ha estado expandiendo, pero no lo ha hecho de forma uniforme en todas direcciones. El monóxido de carbono gaseoso de Plutón parece moverse hacia afuera, en dirección a Caronte, casi como la cola de gas de un cometa (si quieres más información sobre los cometas y sus colas, consulta el capítulo 4).

Cabe señalar que Plutón no es ártico de manera uniforme. Los astrónomos sospechan que tiene algunos “oasis tropicales” en los que la temperatura alcanza los -213°C .

El pequeño Plutón comparado con algunas grandes lunas

Plutón tiene 2.300 kilómetros de diámetro, así que es mucho más pequeño que cualquiera de los ocho planetas del Sistema Solar. Plutón ni siquiera llega al tamaño de las cuatro lunas galileanas de Júpiter, la luna Titán de Saturno ni la Tritón de Neptuno. (Describo todas estas lunas en el capítulo 8.) De hecho, Plutón tiene menos de dos veces el tamaño de Caronte, que tiene 1.207 kilómetros de ancho. Antes de que Plutón fuera reclasificado como planeta enano, algunos astrónomos consideraban que Plutón y Caronte eran un planeta doble.

Abróchate el Cinturón de Kuiper

Los científicos estiman que unos setenta mil cuerpos helados con un diámetro de más de 100 kilómetros orbitan entre la órbita de Neptuno y una distancia de 50 ua del Sol. Esa zona recibe el nombre de Cinturón de Kuiper, en honor al astrónomo Gerard P. Kuiper, uno de los primeros científicos que predijo su existencia, y los objetos que se encuentran en ella son los KBO (Kuiper Belt Objects; Objetos del Cinturón de Kuiper). Casi todos los KBO están más allá del alcance de los telescopios domésticos, a menos que tu patio se encuentre en el Observatorio Palomar o en un centro similar (los aficionados que tengan telescopios lo bastante grandes podrán ver Plutón, que ahora se identifica como el primer KBO conocido, además de como planeta enano). En 1992, los astrónomos David Jewitt y Jane Luu descubrieron el primer KBO que no era Plutón. Desde entonces, los investigadores han descubierto más de mil.

Entre los muchos KBO que han descubierto los astrónomos desde 1992, algunos rivalizan con Plutón por su tamaño y, como mínimo uno, Eris, puede que sea ligeramente mayor. Eris también es un planeta enano y tiene como mínimo

una luna, Disnomia.

Muchos de los KBO conocidos comparten tres propiedades con Plutón:

- ✓ Tienen órbitas muy elípticas.
- ✓ Sus planos orbitales están inclinados en un ángulo importante respecto al plano de la órbita de la Tierra.
- ✓ Describen dos órbitas completas en torno al Sol en aproximadamente el mismo tiempo que tarda Neptuno en recorrer tres órbitas (496 años para dos órbitas de Plutón y 491 años para tres de Neptuno). Este efecto recibe el nombre de *resonancia* y hace que Plutón y Neptuno no colisionen y ni siquiera se acerquen entre sí, a pesar de que sus órbitas se crucen.

Plutón está a salvo de perturbaciones por la poderosa gravedad de Neptuno, que es mucho mayor, al igual que los KBO que comparten estas tres propiedades (llamados *plutinos*, que significa ‘pequeños Plutones’).

Otros objetos orbitan más allá de Neptuno y Plutón, pero, como los KBO, no pueden ser muy masivos porque, si lo fueran, su efecto gravitatorio sobre otros objetos conocidos ya los habría delatado. Uno de estos cuerpos *transneptunianos*, llamado Sedna, fue descubierto en marzo de 2004 a una distancia de 90 ua del Sol, mucho más allá de las 50 ua de distancia en la que parece extinguirse el Cinturón de Kuiper. El tamaño de Sedna no se conoce con precisión, pero probablemente sea mucho más pequeño que Plutón. Algunos astrónomos creen que Sedna forma parte de la Nube de Oort, una enorme colección de cometas distantes que describo en el capítulo 4. Los únicos planetas grandes que hay más allá de Neptuno son los de otras estrellas (consulta el capítulo 14).

Puedes encontrar más información sobre los KBO en la web Cinturón de Kuiper del profesor David Jewitt, de la Universidad de California: www2.ess.ucla.edu/~jewitt/kb.html.

Cómo ver los planetas exteriores

A medida que adquieras experiencia, podrás localizar los planetas exteriores Urano y Neptuno, pero el diminuto Plutón quizá quede más allá de tu alcance visual. La primera vez que busques alguno de estos objetos distantes, pide ayuda a un astrónomo más experimentado que tú, a no ser que tengas un telescopio que apunte de forma automática (recomiendo dos telescopios de este tipo en el

capítulo 3). Aunque dispongas de un telescopio de esta clase, es aconsejable contar con la ayuda de tus amigos.



El *Observer's Handbook* anual de la Real Sociedad Astronómica de Canadá (www.rasc.ca) ofrece mapas de las posiciones de los planetas durante el año. También puedes encontrar mapas similares en las revistas de astronomía (consulta el capítulo 2).

Observación de Urano

Urano fue descubierto con un telescopio, aunque a veces brilla tanto que casi es visible a simple vista, si las condiciones de observación son excelentes. Cuando tengas más experiencia, probablemente serás capaz de localizarlo con unos prismáticos. A través de tu telescopio, puedes distinguir Urano de una estrella, gracias a:

- ✓ Su pequeño disco, de pocos segundos de arco de diámetro (definido en el capítulo 6).
- ✓ Su movimiento lento a través del fondo de estrellas tenues.



El disco de Urano tiene un tono verde pálido; cuando las condiciones de observación sean buenas podrás divisar el disco con un ocular de alta potencia. (En el capítulo 3 tienes más información sobre telescopios y oculares.) Si haces un dibujo de su posición relativa entre las estrellas dentro de tu campo de visión, podrás detectar el movimiento de Urano. Para este objetivo, utiliza un ocular de baja potencia, que te permitirá ampliar el campo de visión y ver más estrellas. Mira de nuevo al cabo de varias horas o la noche siguiente, y vuelve a dibujar.

En marzo de 2012, Urano tenía 27 lunas conocidas. Aunque puedas ver algunas de sus lunas más grandes con grandes telescopios de aficionados, se estudian mejor con los potentes telescopios de los observatorios. Los anillos

oscuros de Urano pueden detectarse con el telescopio espacial *Hubble* y con imágenes tomadas con telescopios muy grandes desde la Tierra, pero no se pueden ver con instrumentos de aficionados.



Puedes ver imágenes de Urano y de sus anillos tomadas desde el telescopio espacial *Hubble* en www.hubblesite.org/newscenter/archive/search.php?query=uranus+view:images. En la web del Planetary Photojournal, <http://photojournal.jpl.nasa.gov>, encontrarás imágenes de Urano, de sus lunas y de sus anillos tomadas desde la sonda espacial *Voyager 2*; basta con hacer clic en la imagen de Urano (*Voyager 2* es la única nave espacial que ha visitado Urano).

Cómo distinguir Neptuno de una estrella

En el cielo, Neptuno parece más tenue que Urano, pero llega a tener un brillo de magnitud 8 (en el capítulo 1 encontrarás más información sobre magnitudes). Si Urano te parece difícil de observar, Neptuno te parecerá aún más complicado cuando no esté en su máximo punto de brillo. Realmente, hay que esforzarse mucho para ver Neptuno cuando no está en su momento más brillante.



Neptuno tiene más o menos el mismo tamaño real que Urano, pero orbita mucho más lejos. Por eso, a través de un telescopio, su disco aparente es más pequeño. Puede que necesites un telescopio grande para diferenciarlo de una estrella. Si eres bueno a la hora de percibir tonos pálidos en objetos tenues vistos a través de un telescopio, te darás cuenta de que Neptuno tiene un tono azul.

Como Neptuno orbita más lejos del Sol que Urano, se mueve a una velocidad más lenta. Esa velocidad más lenta combinada con una mayor distancia desde la Tierra implica que la velocidad angular a través del cielo en segundos de arco al día (consulta el capítulo 6) es “normalmente” inferior en Neptuno que en Urano. Por eso quizá debas esperar una o dos noches más para asegurarte de haber visto a Neptuno moviéndose a través del fondo de estrellas.

Digo “normalmente” porque Urano y Neptuno, como todos los planetas más allá de la órbita de la Tierra, en ocasiones muestran un movimiento retrógrado (consulta el capítulo 6), y parece que, de vez en cuando, ralenticen el ritmo e

inviertan su dirección. Si consigues ver a Urano cuando cambia de dirección en el cielo, su movimiento aparente es mucho más lento de lo normal; en cambio, Neptuno puede que vaya a toda velocidad en ese momento.



En marzo de 2012, Neptuno tenía 13 lunas conocidas. La más grande es Tritón (consulta el apartado anterior “A contracorriente: Neptuno y su mayor luna” para obtener más información sobre Tritón). Cuando sepas cómo localizar Neptuno, busca Tritón con un telescopio de 15 centímetros de diámetro o más en una noche oscura y despejada. Tiene una órbita grande, de entre 8 y 17 segundos de arco desde Neptuno (entre cuatro y ocho diámetros de Neptuno), así que puede que confundas Tritón con una estrella. Si dibujas Neptuno y las “estrellas” tenues que lo rodean durante varias noches, podrás encontrar qué “estrella” se mueve con él a través del fondo de estrellas y que también se mueve alrededor de Neptuno. Tritón tarda casi seis días en describir una órbita completa alrededor del planeta.



Puedes ver imágenes de Neptuno y de sus lunas tomadas por la sonda espacial *Voyager 2* en la página web <http://photojournal.jpl.nasa.gov>, de Planetary Photojournal, haciendo clic en el vínculo de Neptuno. Las imágenes recogidas por el telescopio espacial *Hubble* puedes encontrarlas en www.hubblesite.org/newscenter/archive/search.php?query=neptune+view:images.

Esfuézrate para ver Plutón

Plutón es mucho más difícil de ver que cualquier planeta del Sistema Solar. Orbita lejos y es pequeño. Normalmente, Plutón es de magnitud 14 (consulta el capítulo 1 para informarte sobre las magnitudes). Actualmente, se está separando del Sol y de la Tierra, y seguirá separándose durante muchos años mientras recorre su órbita de 248 años.



Hay aficionados avezados que afirman haber visto Plutón con

telescopios de 15 centímetros, pero yo te recomiendo que, como mínimo, utilices uno de 20 centímetros.

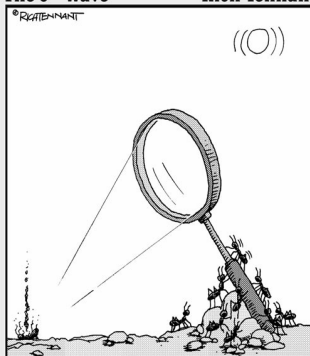
La luna más grande de Plutón, Caronte, orbita muy cerca del planeta enano y le da una vuelta en sólo 6 días, 9 horas y 18 minutos. Únicamente se puede distinguir con potentes telescopios de observatorios.

Parte III

Conoce el Sol y otras estrellas

The 5th Wave

Rich Tennant



VALE, PARECE QUE ÉSTA NO ES LA MEJOR
FORMA DE OBSERVAR EL SOL.

En esta parte...

La parte III incluye una introducción a las estrellas. No, no a los millonarios de Hollywood, sino al Sol y el resto de las estrellas de la galaxia de la Vía Láctea y más allá. Descubrirás los tipos de estrellas y sus ciclos de vida, desde su nacimiento hasta su muerte. Mucho después de que el mundo olvide a Meryl Streep, Tom Hanks y George Clooney, Alfa Centauri seguirá brillando. Cuando te aburras de las novedades de Hollywood, recuerda que las estrellas de verdad siguen ahí para ti.

También incluyo un capítulo sobre agujeros negros y quasares, y simplifico el tema para que no te agobies al intentar comprenderlo. La información sobre las distorsiones del espacio y el tiempo sí que te hará pensar...

Capítulo 10

El Sol: la estrella de la Tierra

En este capítulo

- ▶ Averiguarás la composición del Sol
 - ▶ Conocerás la actividad solar
 - ▶ Aprenderás a observar el Sol de forma segura
 - ▶ Verás manchas solares y eclipses
 - ▶ Buscarás imágenes solares por internet
-

A pesar de que mucha gente se sienta atraída por la astronomía gracias a la belleza de una noche de luna llena y un cielo estrellado, para experimentar todo el impacto directo de un objeto astronómico basta con un día soleado. El Sol es la estrella más cercana a la Tierra y proporciona la energía que posibilita la vida en nuestro planeta.

El Sol nos resulta tan familiar en nuestro día a día que damos por sentado que siempre estará ahí. Quizá te preocupe quemarte por el Sol, pero probablemente no te plantees que el Sol es la principal fuente de información sobre la naturaleza del universo. De hecho, el Sol es uno de los objetos astronómicos más interesantes y agradecidos de estudiar, tanto con telescopios caseros como con instrumentos y observatorios avanzados en el espacio. El Sol cambia día a día, hora a hora, segundo a segundo. Y puedes enseñárselo a tus hijos sin que tengan que irse a dormir a horas intempestivas.



Ni se te ocurra mirar al Sol, ni mucho menos enseñárselo a un niño o a cualquier otra persona sin tomar las precauciones que te explico en este

capítulo. Mirar al Sol puede costarte la vista. Lo más importante es la seguridad; cuando sepas cómo protegerte la vista con el equipo y los procedimientos adecuados, podrás seguir el Sol no sólo a diario, sino también durante el ciclo de manchas solares de once años que describo más adelante en este capítulo.

Este capítulo incluye una introducción a la ciencia del Sol, sus efectos en la Tierra y en la industria, y cómo observarlo de forma segura. Prepárate para mirar al Sol de otra manera: con fascinación y con seguridad.

Calcula el paisaje solar

El Sol es una *estrella*, una bola de gas caliente que brilla con potencia gracias a la energía de la *fusión nuclear*; el proceso por el cual los núcleos de elementos simples se combinan para formar otros más complejos. La energía producida por la fusión dentro del Sol alimenta no sólo al propio Sol, sino también a gran parte de la actividad del sistema de planetas y escombros planetarios que rodea al Sol, es decir, el sistema solar al que pertenece la Tierra (consulta la figura 10-1, que no está a escala).

El Sol produce energía a un ritmo vertiginoso, equivalente a la explosión de 92 mil millones de bombas nucleares de una megatonelada cada segundo. La energía procede del consumo de combustible. Si el Sol fuera carbón, se quemaría completamente en sólo en 4.600 años. Sin embargo, las pruebas fósiles sobre la Tierra muestran que el Sol lleva brillando más de 3.000 millones de años y los astrónomos están seguros de que lleva más tiempo brillando. La edad estimada del Sol es de 4.600 millones de años, y todavía sigue ardiendo.

Sólo la fusión nuclear puede producir la enorme liberación de energía del Sol (su *luminosidad*) y hacer que continúe durante miles de millones de años. Cerca del centro del Sol, la enorme presión y la temperatura central de casi 16 millones de grados Celsius provocan que los átomos de hidrógeno se fusionen y formen helio, un proceso que libera el gran torrente de energía que impulsa al Sol.

Cada segundo, unos 700 millones de toneladas de hidrógeno se convierten en helio cerca del centro del Sol, y 5 millones de toneladas desaparecen y se convierten en energía pura.

Si los humanos pudieran generar energía a través de la fusión en la Tierra, se resolverían todos los problemas provocados por el combustible fósil, desde la contaminación del aire hasta el consumo de recursos no renovables. A pesar de décadas de investigación, los científicos aún no pueden hacer lo que hace el Sol de manera natural. Sin duda, el Sol merece un mayor estudio.

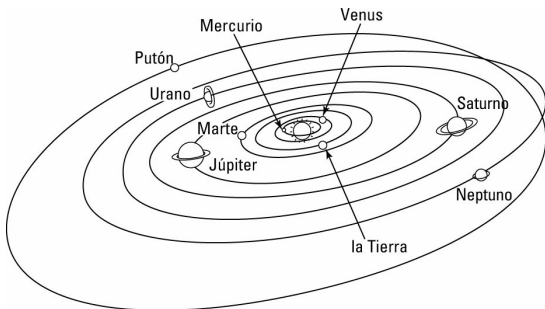


Figura 10-1:

Plutón y los planetas orbitan alrededor del Sol como parte de nuestro Sistema Solar

El tamaño y la forma del Sol: un gran haz de gas

Cuando daba clases de Introducción a la astronomía, siempre planteaba esta pregunta: “¿Por qué el Sol tiene el tamaño que tiene?” Cientos de bocas se quedaban abiertas y sus ojos vagaban por el aula, pero era difícil que alguien la respondiera. Ni siquiera parece una pregunta lógica. Todo tiene un tamaño, ¿no? ¿Y qué?

Pero si el Sol solamente está formado por gas caliente (efectivamente), ¿qué es lo que lo mantiene unido? ¿Por qué no se disipa, como cuando uno suelta un anillo de humo? La respuesta, amigo mío, es que la gravedad impide que el Sol vuele con el viento. Tal y como describo en el capítulo 1, la gravedad es la fuerza que afecta a todo en el universo. El Sol es tan masivo (330.000 veces la masa del planeta Tierra) que su potente gravedad puede mantener junto todo el gas caliente.

Bueno, quizá te asalte la duda de que, si la gravedad del Sol reúne todo este gas, ¿por qué no se comprime y forma una bola mucho más pequeña? La respuesta es la elevada presión. Cuanto más caliente esté el gas y más elevada sea la gravedad (o cualquier otra fuerza) que lo comprime, mayor será la presión. Y la presión del gas infla el Sol, igual que la presión de aire infla el neumático de un coche.

La gravedad tira hacia dentro; la presión empuja hacia fuera. En un diámetro determinado, ambos efectos opuestos son iguales y están en equilibrio, de modo que se mantiene un tamaño uniforme. Dicho diámetro es de unos 1.392.000 kilómetros, o unas ciento nueve veces el diámetro de la Tierra. Puedes encajar 1.300.000 Tierras dentro del Sol, pero no sé de dónde las sacarías.

El Sol es esférico por la misma razón: la gravedad tira en todas direcciones hacia el centro y la presión empuja igualmente en todas direcciones. Si el Sol rotara muy rápido, sobresaldría un poco en el ecuador y quedaría sutilmente achatado en los polos debido al efecto que se suele llamar *fuerza centrífuga*. Sin embargo, el Sol rota a un ritmo muy lento —una vez cada veinticinco días en el ecuador y más despacio cerca de los polos— así que la protuberancia en su ecuador es poco destacable.

Las regiones del Sol: entre el núcleo y la corona

La *fotosfera* ('esfera de luz') es la superficie visible del Sol (consulta la figura 10-2). Cuando miras el disco brillante del Sol en el cielo (ten cuidado y no lo mires fijamente), ves la fotosfera. Cuando ves manchas solares en una fotografía del Sol (o con un telescopio, tal como describo más adelante en este capítulo), estás mirando una foto o una imagen en vivo de la fotosfera. Y cuando escribo que el diámetro del Sol es de 1.392.000 kilómetros, como menciono en el apartado anterior, me refiero al tamaño de la fotosfera. La temperatura de la fotosfera es de 5.500 °C.

Por encima de la fotosfera, se encuentran las dos principales capas externas del Sol:

- ✓ **Cromosfera ("esfera de color"):** Capa delgada que puedes ver durante un eclipse total de Sol, cuando se ve como una banda roja estrecha alrededor del limbo oscuro de la Luna (describo los eclipses solares en "Experimenta eclipses solares", más adelante en este capítulo). La cromosfera sólo mide unos 1.600 kilómetros de grosor, pero su temperatura alcanza los 10.000 °C.



Puedes ver la cromosfera en el borde del Sol si utilizas un caro filtro H-alfa, que menciono en el recuadro "Estilos de observación solar de los derrochadores", más adelante en este

capítulo, o puedes verlo en imágenes tomadas con telescopios profesionales y que encontrarás en el sitio web de la NASA (consulta el apartado “Dónde encontrar imágenes solares por internet”) y en varias webs de observatorios profesionales. También puedes ver la cromosfera durante un eclipse total de Sol, que se explica más adelante en este capítulo. Cuando se produzca el eclipse, no necesitarás equipo de ningún tipo para ver la cromosfera, podrás verlo a simple vista.

La transición desde la cromosfera a la corona, cien veces más caliente, se da en una fina capa limítrofe llamada *región de transición*. No aparece en las imágenes del Sol.

- ✓ **Corona:** Capa más grande y menos densa (más tenue) del Sol. Durante un eclipse total, puedes verla como una región de color blanco nacarado que se extiende desde el disco eclipsado del Sol. La forma de la corona varía de un día a otro (tal y como muestran las fotografías de los satélites que observan el Sol) y de un eclipse total al siguiente (tal como lo ven los observadores de la Tierra). La corona no tiene un grosor concreto. A medida que aumenta la distancia desde la fotosfera, va haciéndose gradualmente más fina, y el tamaño de la corona que puedas medir dependerá de la sensibilidad de tu instrumento de medición. Cuanto más sensible sea el instrumento, más corona podrás detectar. La corona es muy tenue y tiene una temperatura muy elevada (un sofocante millón de grados Celsius) y, en algunos puntos, es incluso mayor.

La corona está tan enrarecida y electrificada que el campo magnético del Sol determina su forma. Donde las líneas de fuerza magnética se estiran y se abren hacia fuera en el espacio, el gas de la corona es tenue y apenas visible. Puede escapar fácilmente en forma de viento solar (consulta el apartado “El viento solar: un juego de imanes”). Donde las líneas de fuerza magnética llegan a la corona y vuelven a la superficie, el gas de la corona queda confinado. La corona es allí más densa y más brillante. Algunas estructuras con forma de bucle se extienden desde la fotosfera hasta la corona y mantienen el gas mucho más frío que sus zonas colindantes. Estos bucles se llaman *protuberancias*, y puedes verlas en el extremo del Sol durante un eclipse total.

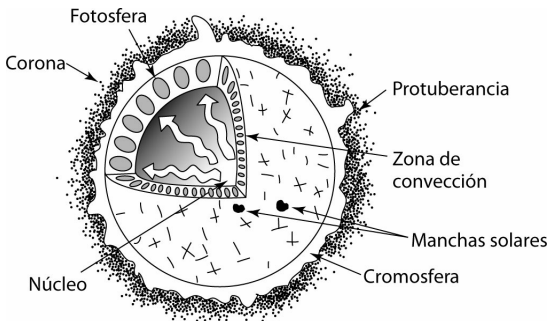


Figura 10-2:

El Sol es un foco de actividad que propulsa su trozo del universo

Interior solar es el nombre colectivo que se refiere a todo lo que está por debajo de la fotosfera, y contiene estas tres zonas principales:

- ✓ **Núcleo:** Esta región se extiende desde el centro del Sol hasta aproximadamente un 25 % de la distancia hasta la fotosfera (unos 173.000 kilómetros). La energía solar se genera en el núcleo por fusión nuclear a temperatura y densidad elevada. Como la temperatura y la densidad son máximas en el centro y se reducen gradualmente al ir hacia fuera, la mayor parte de la energía solar procede de la parte más interna del núcleo y, en menor medida, de sus partes más exteriores. La energía se genera como rayos gamma (un tipo de luz) y como neutrinos, extrañas partículas subatómicas que describo más adelante en este capítulo, en el apartado “El CSI solar: el misterio de los neutrinos solares desaparecidos”. Los rayos gamma rebotan de un átomo a otro, van adelante y atrás, pero, de media, se mueven hacia fuera. Los neutrinos atraviesan velozmente todo el Sol y salen al espacio. Cuanto más lejos del centro del Sol, más fría es la temperatura.
- ✓ **Zona radiativa:** Esta región se extiende desde el límite exterior del núcleo hasta aproximadamente el 71 % de la distancia desde el centro hasta la fotosfera (494.000 kilómetros desde el centro). Esta capa

recibe su nombre del hecho de que gran parte de la energía solar viaja hacia fuera a través de la zona en forma de radiación electromagnética (un término físico para hacer referencia a la luz).

- ✓ **Zona de convección:** Esta región empieza en la parte superior de la zona radiativa, a 494.000 kilómetros del centro del Sol, y llega hasta la fotosfera. Remolinos de corrientes de gas caliente transfieren la energía en esta zona, con corrientes calientes que ascienden desde el fondo, se enfrían en la parte superior de la zona de convección y vuelven a caer, calentándose, y emergiendo de nuevo (en un hervidor de agua, se utiliza el mismo proceso para aportar calor desde el fondo del aparato hasta la superficie).

La actividad solar: ¿qué ocurre ahí?

El término *actividad solar* se refiere a todas las perturbaciones que tienen lugar en el Sol en todo momento y cualquier día. Todas las formas de actividad solar, entre ellas el ciclo de manchas solares de once años y algunos ciclos más largos, parecen implicar magnetismo. En el interior profundo del Sol, una dinamo natural genera campos magnéticos nuevos sin parar. Los campos magnéticos suben a la superficie y a las capas más elevadas de la atmósfera solar. Giran y crean manchas solares, erupciones y otros fenómenos cambiantes.

Los astrónomos miden los campos magnéticos del Sol por sus efectos sobre la radiación solar, utilizando instrumentos llamados *magnetógrafos*. Puedes ver imágenes obtenidas mediante estos dispositivos en los sitios web de algunos observatorios solares profesionales (consulta el apartado “Dónde encontrar imágenes solares por internet”). Estas observaciones de los campos magnéticos muestran que las manchas solares son zonas de campos magnéticos concentrados, y que los grupos de manchas solares tienen polos magnéticos norte y sur. Fuera de las manchas solares, el campo magnético general del Sol es bastante débil.

Muchos de los rasgos del Sol que cambian rápidamente y probablemente todas las explosiones y erupciones, parecen estar relacionadas con el magnetismo solar. Allí donde hay campos magnéticos cambiantes, se producen corrientes eléctricas (como en un generador), y cuando dos campos magnéticos chocan entre sí, un cortocircuito (conocido como *reconexión magnética*) puede liberar de repente una enorme cantidad de energía.

Comento diversos tipos de actividad solar en los siguientes apartados.

Eyecciones de masa coronal: la madre de las fulguraciones solares

Durante décadas, los astrónomos han creído que las principales explosiones en el Sol eran las fulguraciones solares. Pensaban que en la cromosfera se daban fulguraciones solares (ya explicadas en este capítulo) y accionaban los demás procesos explosivos.

Ahora, los astrónomos saben que eran como aquel hombre ciego que toca una cola de elefante y cree que lo sabe todo sobre el animal cuando, de hecho, está tocando una de las partes menos importantes del animal. Las observaciones desde el espacio revelan que los principales motores de las explosiones solares no son las fulguraciones, sino las eyecciones de masa coronal, es decir, enormes erupciones coronales que se dan en lo alto de la corona. A menudo, una eyección de masa coronal activa una fulguración solar debajo de ella en la corona inferior y en la cromosfera. Puedes ver fulguraciones solares en muchas de las imágenes de webs de astronomía profesionales. Igual que el número de manchas solares aumenta durante el ciclo de actividad solar de once años (consulta el siguiente apartado), también lo hace el número de fulguraciones.

Durante muchos años, los científicos no supieron de la existencia de las eyecciones de masa coronal porque no podían verlas. Los astrónomos sólo podían ver bien la corona en raras ocasiones durante los breves instantes que dura un eclipse total del Sol (consulta el apartado “Experimenta eclipses solares”, más adelante en este capítulo). Sin embargo, las fulguraciones solares se pueden ver en cualquier momento, así que los científicos las estudiaron intensamente y sobrestimaron su importancia.

Puedes observar protuberancias (consulta el apartado anterior) en el borde del Sol aunque no sea durante un eclipse total del Sol, pero necesitas un filtro H-alfa (describo estos filtros en el recuadro “Estilos de observación solar de los derrochadores”). Si realizas suficientes observaciones, verás que, a veces, las protuberancias entran en erupción. Dichas protuberancias eruptivas también pueden ser fases de eyecciones de masa coronal.

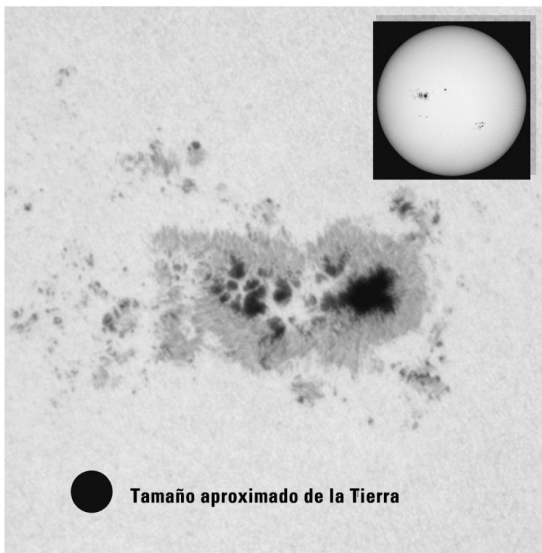
Cuando las imágenes de los satélites muestran una eyección de masa coronal que no desaparece, por ejemplo, al este o al oeste del Sol, sino que forma un enorme anillo de expansión o *halo* alrededor del Sol, son malas noticias. Este halo significa que la eyección de masa coronal (alrededor de 1.000 millones de toneladas de gas caliente, electrificado y magnetizado) se dirige directamente a la Tierra a unos 1.600.000 kilómetros por hora. Cuando choca contra la magnetosfera de la Tierra (que describo en el capítulo 5), a veces se producen efectos graves, tal y como describo más adelante en el apartado “El viento solar: un juego de imanes”.



Si ves un halo en una de las imágenes de los satélites, consulta la web del Centro de Predicción de Clima Espacial de la NOAA (Agencia Nacional Oceanográfica y Atmosférica), www.swpc.noaa.gov; quizá la NOAA esté prediciendo un clima espacial muy agresivo.

Ciclos dentro de ciclos: el Sol y sus manchas

Las *manchas solares* son regiones de la fotosfera en las que el campo magnético es fuerte. Parecen manchas negras en el disco solar (consulta la figura 10-3). Las manchas están más frías que la atmósfera circundante y suelen aparecer en grupos.



Cortesía de SOHO, NASA/Agencia Espacial Europea

Figura 10-3:

El 23 de setiembre de 2000 se fotografió un grupo de manchas solares doce veces mayor que la Tierra

El número de manchas solares en el Sol varía notablemente a lo largo de un ciclo que se repite y que dura alrededor de once años. Es el famoso *ciclo de actividad solar*. Antiguamente, la gente culpaba de todo a las manchas solares, desde el mal tiempo hasta la caída de la bolsa. Suelen pasar unos once años entre puntos máximos sucesivos (cuando aparecen más manchas) de este ciclo, pero ese período puede variar. Además, el número de manchas en el punto máximo puede diferir de un ciclo a otro. Los expertos siempre intentan predecir cuántas manchas solares aparecerán en el ciclo siguiente, aunque estas predicciones de

largo alcance no son muy fiables.

Cuando un grupo de manchas solares se mueve a través del disco solar debido a la rotación del Sol, la mancha más grande de las de delante (la parte del grupo que indica el camino a través del disco) recibe el nombre de *mancha precedente*. La mancha más grande del extremo opuesto del grupo se llama *mancha subsecuente*.

Las observaciones con magnetógrafo muestran estructuras definidas en la mayoría de los grupos de manchas solares. Durante un ciclo de once años, todas las manchas precedentes del hemisferio norte del Sol tienen una polaridad magnética norte, y las manchas subsecuentes, polaridad magnética sur. Al mismo tiempo, en el hemisferio sur, las manchas precedentes tienen polaridad sur, y las manchas subsecuentes, polaridad norte.

Estas polaridades se definen de esta forma: cuando la aguja de la brújula señala el norte en la Tierra, tenemos una “brújula que apunta al norte”. La polaridad magnética norte en el Sol es la que señalaría una de estas brújulas, si hubiera una en el Sol y no se fundiera. Y por lo mismo, la polaridad magnética sur en el Sol sería aquella de la que huiría una brújula de este tipo.

Justo cuando crees que ya lo tienes, ¿sabes qué pasa? Que empieza un nuevo ciclo de once años y todas las polaridades se invierten. En el hemisferio norte, las manchas precedentes tienen polaridad sur y las manchas subsecuentes tienen polaridad norte. En el hemisferio sur, las polaridades magnéticas también se invierten. Si fueras una brújula, no sabrías si ir o venir.

Para agrupar toda esta información, los astrónomos han definido el *ciclo magnético del Sol*. El ciclo dura unos veintidós años y contiene dos ciclos de actividad solar. Más o menos cada veintidós años, se repite el patrón de cambiantes campos magnéticos del Sol.

La “constante” solar: tiempo para enfrentarse a los cambios

La cantidad de energía total que produce el Sol recibe el nombre de *luminosidad solar*. A los astrónomos les interesa más la cantidad de energía solar que recibe la Tierra, es decir, la *constante solar*. Dicha constante se define como la cantidad de energía que cae por segundo en una área de 1 centímetro cuadrado encarado hacia el Sol a la distancia media de la Tierra hasta nuestra estrella; esta constante solar es de 1.368 watts por metro cuadrado.

Las mediciones realizadas por varios satélites solares y meteorológicos que envió la NASA en la década de los ochenta revelaron cambios muy pequeños en la constante solar cuando el Sol va girando. Quizá pienses que la Tierra recibe menos energía cuando hay manchas solares oscuras en el disco solar, pero no es así. De hecho, sucede al contrario: cuantas más manchas solares hay, más energía recibe la Tierra del Sol. Otro misterio que deben resolver los astrónomos.



Según la teoría astrofísica, el Sol era ligeramente más brillante cuando era muy joven, de lo que lo ha sido los últimos varios miles de millones de años. Esta teoría también predice que el Sol liberará mucha más energía en la Tierra en un futuro lejano, cuando se convierta en una estrella gigante roja (consulta el capítulo 11).

Por lo tanto, lo de “constante solar” parece un poco inexacto, aunque de un día a otro, cualquier cambio de la producción de energía del Sol es extremadamente pequeño.

El viento solar: un juego de imanes

Existe un tipo de plasma solar llamado *viento solar* que siempre fluye desde de la corona. Se mueve a través del Sistema Solar a unos 470 kilómetros por segundo cuando pasa por la órbita de la Tierra.

El viento solar llega en flujos, golpes y bocanadas, y constantemente perturba y rellena la magnetosfera de la Tierra, que se comprime y vuelve a hincharse. Las perturbaciones en la magnetosfera, sobre todo las de tormentas solares que se desplazan como eyecciones de masa coronal (que he explicado anteriormente en este capítulo), pueden provocar la formación de la aurora boreal (*aurora borealis*) y la aurora austral (*aurora australis*), así como tormentas geomagnéticas (consulta el capítulo 5 si quieres obtener más información sobre la magnetosfera y las auroras). Las tormentas geomagnéticas pueden apagar redes de suministro de compañías eléctricas (lo que provoca apagones), apagar circuitos electrónicos en oleoductos y gaseoductos, interferir con GPS y comunicaciones por radio y dañar caros satélites. Algunas personas incluso afirman que pueden “oír auroras”.

Las eyecciones de masa coronal suelen ser invisibles con los equipos de aficionado, pero los telescopios de los satélites las revelan de maravilla. Expulsan miles de millones de toneladas de masas de gas electrificado, llamado *plasma solar*, impregnado de campos magnéticos, hacia el Sistema Solar, donde, a veces, chocan contra la magnetosfera de la Tierra (la *magnetosfera* es una enorme región alrededor de la Tierra en la que electrones, protones y otras partículas cargadas eléctricamente van de aquí para allá, desde las altitudes muy al norte hasta latitudes muy al sur, atrapadas en el campo magnético de la Tierra. La magnetosfera actúa como paraguas protector contra las eyecciones de masa coronal y el viento solar).



Las perturbaciones solares y sus efectos en la magnetosfera se conocen con el nombre de *meteorología espacial*. Puedes ver el último parte meteorológico del clima espacial y el pronóstico oficial del gobierno de Estados Unidos en la web del Centro de Predicción de Clima Espacial de la NOAA (Agencia Nacional Oceanográfica y Atmosférica), www.swpc.noaa.gov.

El CSI solar: el misterio de los neutrinos solares desaparecidos

La fusión nuclear en el corazón del Sol hace algo más que convertir hidrógeno en helio y liberar energía en forma de rayos gamma para calentar toda la estrella. También libera enormes cantidades de *neutrinos*, partículas subatómicas eléctricamente neutras que casi no tienen masa, viajan a la velocidad de la luz y pueden atravesar casi cualquier cosa. Los astrónomos pueden comprobar la temperatura y la densidad del núcleo del Sol observando los neutrinos que proceden de la estrella.

Un neutrino es como un cuchillo caliente que atraviesa la mantequilla: corta con facilidad. De hecho, los neutrinos pueden volar desde el centro del Sol hasta el espacio. Los que se dirigen a la Tierra, la atraviesan y salen por el otro lado. El neutrino se diferencia del cuchillo caliente en que el cuchillo derrite la mantequilla con la que entra en contacto. El neutrino sólo sale disparado, sin afectar casi nunca a la materia por la que pasa (aunque no siempre).

Los experimentos físicos pueden detectar las raras excepciones en las que los neutrinos interactúan con la materia. Por eso, se llega a contar una fracción diminuta de los neutrinos solares que pasan a través de enormes laboratorios subterráneos conocidos como *observatorios de neutrinos*. Estos observatorios suelen situarse en minas profundas y túneles debajo de montañas. A estas profundidades, hay pocos tipos de partículas que lleguen, por eso para los científicos es más fácil diferenciar un neutrino solar de otras partículas. Uno de los principales centros, el Sudbury Neutrino Observatory de Canadá, está a 2 kilómetros por debajo de la superficie de la Tierra. Es un buen punto desde el que “profundizar” en la astronomía.

Contar neutrinos no es fácil, pero, hace tiempo, los informes de los observatorios de neutrinos indicaron una deficiencia en los neutrinos solares: el número de neutrinos que llegaban a la Tierra era significativamente menor que el número que esperaban los científicos, de acuerdo con el ritmo al que el Sol genera energía.

La deficiencia de neutrinos solares era el menor de nuestros problemas. No era nada comparado con el sida, la guerra, el hambre, la destrucción de los

bosques, las especies en peligro de extinción y el consumo de reservas de combustible fósil. Sin embargo, aquella pérdida fastidiaba a los científicos, lo que les impulsó a elaborar nuevas teorías de la física de partículas y verificar modelos teóricos del interior solar.

Por suerte, los científicos del Sudbury Neutrino Observatory (y otros lugares) resolvieron el problema de los neutrinos desaparecidos. Resultó que, de camino a la Tierra algunos de los neutrinos producidos en el núcleo del Sol se convierten en uno de los otros dos tipos de neutrinos, y los primeros observatorios de neutrinos que informaron de la deficiencia de neutrinos solares no podían detectar los otros dos tipos. El problema era una deficiencia en el equipo de laboratorio, no una falta de comprensión sobre cómo genera energía el Sol ni cuántos neutrinos emite. Ésta es una buena analogía: imagina que participas en un estudio de fauna anual en el que tienes que contar pájaros, pero llevas gafas con cristales de colores. Estos cristales hacen que sea difícil ver pájaros de algunos colores determinados. Por eso, quizá pienses que los pájaros llamados azulejos están en peligro de extinción, pero el problema es que tú sólo puedes ver cardenales.

Cuatro mil millones, y seguimos contando: la esperanza de vida del Sol

Algún día, el Sol agotará su combustible, por lo tanto, algún día, morirá. Sin la energía y el calor del Sol, la vida en la Tierra dejará de existir. Los océanos se congelarían, y el aire también. Parece lógico, ¿verdad? Pero lo que realmente pasará es que el Sol se hinchará y adoptará la forma de una estrella gigante roja (consulta el capítulo 11 para obtener más información sobre gigantes rojas). Parecerá enorme, y quemará los océanos. En consecuencia, los océanos se evaporarán antes de que puedan congelarse.

Lee el párrafo anterior con atención: no he dicho que los océanos se congelarán, sino que se congelarían sin la energía del Sol. De hecho, la energía que recibe la Tierra aumentará tanto antes de que el Sol muera que los humanos perecerán asfixiados (si siguen existiendo humanos), no por el frío. En los mares, se servirá aún hervido, no bacalao congelado. ¡Esto sí que es un calentamiento global!

La gigante roja Sol arrojará sus capas externas y formará una bonita nebulosa en expansión, el tipo de nube de gas brillante que los astrónomos llaman *nebulosas planetarias*. Pero ningún humano estará ahí para admirarlo. Por eso, para apreciar algo que seguro que nos perderemos, observa algunas de las nebulosas planetarias creadas por otras estrellas (consulta el capítulo 12).

La nebulosa se apagará poco a poco y en su centro sólo quedará una diminuta ceniza del Sol, un objeto pequeño y caliente llamado *estrella enana blanca*. No será mucho mayor que la Tierra, y, a pesar de que al principio estará muy

caliente, será demasiado pequeña para lanzar mucha energía hacia la Tierra. Sea lo que sea que haya quedado en la superficie de la Tierra, se congelará. Y la enana blanca se consumirá como se consumen las brasas en una hoguera que se apaga, desapareciendo poco a poco.

Por suerte, nos deberían quedar unos 5.000 millones años antes de que esa expectativa se cierna sobre nosotros. Las generaciones futuras pueden preocuparse por este tema, por la deuda nacional y por cómo adquirir las raras primeras ediciones de *Astronomía para Dummies*.

Que no te ciegue tu error: técnicas seguras para la observación solar

En el siglo XVII el astrónomo italiano Galileo Galilei hizo el primer gran descubrimiento telescópico acerca del Sol. A través de la observación de los movimientos diarios de las manchas solares en la superficie solar, dedujo que el Sol gira. Según cuentan, se dañó la vista mientras lo investigaba. Puede que esta historia no sea del todo cierta, pero mi advertencia sí que lo es: mirar al Sol a través de un telescopio u otra ayuda óptica como los prismáticos es extremadamente peligroso. Un telescopio o unos prismáticos recogen más luz que nuestros ojos mirando a simple vista y la concentran en un punto pequeño de tu retina, donde causará un daño inmediato y grave. ¿Has visto alguna vez cómo una lupa concentra los rayos del Sol en un trozo de papel y lo quema? Ésa es la idea.



Mirar al sol a simple vista no es bueno, y, en algunos casos, puede resultar dañino. Incluso una observación muy breve del Sol a través de un telescopio, prismáticos o cualquier otro instrumento óptico (tanto si usas tu material como el de otras personas) es muy peligroso, a no ser que el equipo incorpore un filtro solar bien instalado y que proceda de un fabricante de confianza, diseñado específicamente para observar el Sol.

Una opción posible es observar el Sol con la técnica denominada *proyección*. Si sigues las instrucciones de los siguientes apartados con atención, te evitarás un mal trago. Mejor aún, deja que un astrónomo profesional o aficionado con experiencia te asesore antes de empezar a observar (consulta el capítulo 2 para obtener más información sobre asociaciones y otros recursos que te ayudarán a empezar).

Observa el Sol mediante una proyección

Galileo inventó la *técnica de la proyección* utilizando un sencillo telescopio para proyectar una imagen del Sol en una pantalla, como lo hace un proyector de diapositivas. Esta técnica sólo es segura cuando se utiliza con telescopios sencillos, como los que se venden bajo la descripción de *refractor* o *reflector newtoniano*.

Tal y como explico en capítulo 3, un reflector newtoniano sólo usa espejos, además del ocular, y su ocular está cerca de la parte superior del tubo del telescopio, sobresaliendo en ángulo recto. Un refractor funciona con lentes y no contiene espejo.



No utilices la técnica de proyección con telescopios que incorporen lentes y espejos junto a oculares. Es decir, no uses esta técnica con los modelos Schmidt-Cassegrain ni Maksutov-Cassegrain, ya que utilizan espejos y lentes (describo estos telescopios en el capítulo 3). La imagen caliente y concentrada del Sol puede dañar el equipo que hay al principio del tubo del telescopio y puede suponer un peligro.



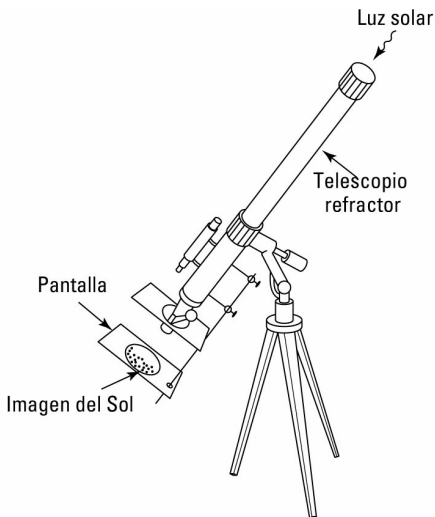
Aquí tienes algunos consejos para ver el Sol de forma segura mediante la técnica de la proyección:

1. **Monta un telescopio refractor o reflector Newtoniano en un trípode.**
2. **Instala tu ocular de menor potencia en el telescopio.**
3. **Apunta el telescopio hacia el Sol sin mirar por él; manteneos alejados del ocular. No os quedéis detrás del ocular, pues por allí emergen los rayos solares concentrados. (Si el telescopio tiene un pequeño buscador, ¡tampoco mires a través de él!)**
4. **Busca la sombra del tubo del telescopio en el suelo.**
5. **Mueve el telescopio arriba y abajo, y de izquierda a derecha, mientras miras la sombra, para hacerla lo más pequeña posible.**
Lo mejor es que tú o un ayudante aguantéis un trozo de cartón detrás del telescopio, perpendicular al tubo, de forma que la sombra caiga sobre el cartón. Mover el telescopio para que la sombra que proyecte el tubo sea lo más nítida, oscura y circular posible.
6. **Sujeta la cartulina en el ocular; el Sol estará en el campo de visión, y su imagen se proyectará en el cartón.**

Si no se ve la imagen del Sol, su resplandor debería ser visible a un lado del cartón; en ese caso, mueve el telescopio para desplazar el resplandor hacia el centro del cartón así, mueves el Sol hasta que se vea. Recuerda que si alejas el cartón del ocular, la imagen proyectada del Sol será mayor y más fácil de ver, pero si lo alejas demasiado, y la imagen será demasiado tenue y difusa y no se verá bien.



En la figura 10-4, se presenta un esquema de la técnica de la proyección. Importante: en el esquema se muestra un pequeño buscador montado en el telescopio porque la mayoría de los telescopios están equipados de esa forma, pero (tal y como advierto más arriba) no debes mirar al Sol a través del buscador ni a través del telescopio principal, porque podría provocarte graves daños oculares. La forma más fácil y segura de practicar esta técnica es consultar con un observador experimentado de tu club de astronomía; consulta el capítulo 2 para ver más información sobre cómo encontrar un club en tu zona.



Dinah L. Moché/ Astronomy: A Self-Teaching Guide, séptima edición

Figura 10-4:

Proyecta el Sol en una superficie blanca para protegerte la vista

Aunque evites mirar a través del telescopio, debes ser consciente de que hay otros peligros en el método de la proyección. En una escuela de Brooklyn, vi a un estudiante proyectar una imagen solar con un telescopio de 18 centímetros. Sabía que no debía mirar a través del ocular. Sin embargo pasó el brazo a través del rayo proyectado cerca del ocular, un punto en el que la imagen solar es muy pequeña. La imagen caliente y concentrada quemó su chaqueta de cuero negro y le hizo un agujero.



Ten mucho cuidado cuando utilices un telescopio como proyector

de imágenes del Sol, y nunca dejes que un niño o cualquier otra persona que no domine este método manipule el telescopio. No mires el Sol a través de tu telescopio, ni a través del pequeño buscador que quizá lleve incorporado. Para evitar daños, asegúrate de que no haya nadie, ropa ni cualquier otro objeto en la trayectoria del haz de luz solar proyectado; en el haz, sólo debería haber la pantalla de proyección de cartón.

Estilos de observación solar de los derrochadores

Existen filtros solares especiales, llamados *filtros H-alfa*, que te permiten ver algunos de los fascinantes fenómenos del Sol que no puedes observar con luz blanca. En particular, a menos que estés mirando un eclipse total del Sol, estos filtros son necesarios para ver las protuberancias solares, que parecen arcos encendidos en el limbo o extremo del disco solar. Estos filtros son muy caros (suelen superar los 750 €).

Los filtros H-alfa se clasifican según su *ancho de banda*, es decir, el estrecho rango de longitudes de onda del espectro solar que dejan pasar. En general, cuanto más estrecho sea el ancho de banda, más caro será el filtro. La mayoría de los filtros H-alfa deberían permitir ver protuberancias en el borde del Sol, pero para ver fulguraciones solares con facilidad, necesitas filtros con ancho de banda de 0,7 Å (0,7 angstroms) o menos. También puedes ver *filamentos* a través de filtros H-alfa (líneas oscuras y ligeramente curvadas en el disco solar) que no se ven con filtros de luz blanca. Los filamentos y las protuberancias son, básicamente, parecidos: brillantes con un filtro H-alfa si los ves en el borde del Sol contra un fondo relativamente oscuro, pero oscuros vistos delante del Sol, que proporciona un fondo brillante.

Si su alto precio no te detiene (y si tienes experiencia en la observación solar de luz blanca, tal y como describo en este capítulo), recuerda averiguar más sobre los filtros H-alfa. Thousand Oaks Optical (www.thousandoaksoptical.com) es de los principales proveedores de filtros H-alfa y de otros tipos de filtros para observadores solares. Meade Instruments vende filtros Coronado SolarMax II, un producto de gama alta que puedes afinar para conseguir mejor contraste (www.meade.com).

Quizá la forma más segura y menos cara de obtener tus propias vistas con filtros H-alfa del Sol es utilizar un telescopio pequeño fabricado para ese propósito. En concreto, el prestigioso telescopio Coronado Personal Solar, que también vende Meade Instruments, ofrece unas imágenes espectaculares. Cuesta unos 700 € sin trípode. Puedes ver mucha actividad solar en H-alfa, pero es mucho más caro que las observaciones con luz blanca, que sólo

muestran manchas solares.

Cuando domines la técnica de la proyección, busca manchas solares. Si detectas alguna, mira de nuevo al día siguiente y al cabo de dos días para controlar su movimiento a través del disco solar. A pesar de que puede que se muevan un poco, la mayoría de los movimientos de las manchas solares se deben a que el Sol gira, es decir, a la *rotación solar*. Estás repitiendo el descubrimiento de Galileo de la forma segura que él inició.

Si no quieres usar la técnica de la proyección, o si tienes un telescopio que utiliza tanto lentes como espejos (que no debes usar con esta técnica), todavía puedes ver el Sol con seguridad, pero necesitas un filtro solar especial de *luz blanca*. Este tipo de luz significa que el filtro admite todos o la mayoría de los colores de luz visible. El filtro sirve para reducir el brillo de la luz. Ver el Sol a través de un filtro seguro de luz blanca (consulta el apartado siguiente) implica hacer una inversión modesta, pero vale la pena pagar ese precio a cambio de esas vistas y seguridad. ¡Sigue leyendo, Galileo!

La observación del Sol a través de filtros frontales

Los únicos filtros solares que recomiendo para observar el Sol con luz blanca son los que se colocan en la parte frontal de tu telescopio para que no pueda entrar luz en él sin pasar a través del filtro (no son los filtros H-alfa que describo en el apartado “Estilos de observación solar de los derrochadores”, son mucho más baratos). Los filtros de luz blanca muestran manchas solares, y los filtros H-alfa, no. En cambio, los filtros de luz blanca no muestran protuberancias ni fulguraciones solares, algo que puedes ver a través de filtros H-alfa.



Los filtros situados en el ocular o cerca de él se pueden romper debido al calor solar concentrado, y es posible que te provoquen un gran daño en los ojos. Utiliza sólo filtros que vayan en la parte frontal de tu telescopio.

En el capítulo 3 comento varios tipos de telescopios y recomiendo los siguientes filtros frontales para la observación solar:

- ✓ **Filtros de apertura total:** Apropriados para telescopios de 10 centímetros de apertura o menos (la *apertura* es el diámetro de la lente

o espejo que capta la luz en tu telescopio), como el Meade ETX-90 y el Celestron Sky Prodigy 90 (consulta el capítulo 3). El filtro se extiende a través de todo el diámetro del telescopio, de manera que todo el espejo o la lente que capta la luz recibe la luz filtrada del Sol.

- ✓ **Filtros fuera de eje (*off-axis*):** Son los mejores para telescopios de una apertura de 10 centímetros o más, pero no para refractores. Un filtro fuera de eje es más pequeño que la apertura del telescopio, pero está montado en una placa que cubre toda la apertura. El Sol es tan brillante que no necesitas toda la apertura del telescopio para captar luz suficiente que te permita una buena observación solar. Una apertura mayor puede ofrecer una visión potencialmente más nítida, pero, en la mayoría de los lugares desde los que observarás, la imagen borrosa de la atmósfera de la Tierra anulará esta ventaja. Cuanta menos luz del Sol innecesaria entre en tu telescopio, más seguros estaréis tanto tú como tu aparato.

Prueba la técnica del stop down en tu telescopio

Cuando bloqueas parte o la mayoría del haz de luz de un telescopio (por ejemplo, utilizando un filtro que sólo admita luz a través de parte de la apertura), estás usando la técnica *stop down* en el telescopio.

¿Adivinas quién inventó esta técnica? ¡Galileo! ¡Qué pasada! Puedes repetir su trabajo a través de la observación de manchas solares con un telescopio y la técnica del *stop down*. Galileo también realizó experimentos de física, como (supuestamente) dejar caer pesos desde la torre inclinada de Pisa. Ni se te ocurra probarlo...

Para la mayoría de los telescopios que no sean refractores recomiendo filtros solares fuera de eje, porque normalmente los telescopios no refractores tienen pequeños espejos o dispositivos mecánicos en el interior del tubo que bloquean la parte de la luz que llega al centro del telescopio.

En el caso especial de un refractor con una apertura de 10 centímetros o más, debes colocar el filtro en el extremo superior del telescopio y debe ser más pequeño que la apertura del telescopio, pero debería montarse centrado en una placa opaca que lo cubra. Esto es así porque, en general, la parte central de la lente objetivo o primario del refractor (la lente grande) puede que tenga mejor calidad óptica que la periferia de la lente.

Thousand Oaks Optical, de Thousand Oaks (California), fabrica filtros solares de apertura total y fuera de eje de varias clases. Esta empresa vende filtros que encajan en muchos telescopios. Puedes consultar esta información en su web <http://thousandoaksoptical.com/solar.html>.



Utiliza filtros solares según las instrucciones del fabricante.

Diviértete con el Sol: la observación solar

El Sol es una fascinante bola de gases calientes en cambio constante. Ofrece multitud de oportunidades de observación para el observador prudente. Además de observar el Sol tú mismo (teniendo en cuenta las advertencias comentadas en el apartado anterior), puedes ver increíbles imágenes producidas de forma profesional. Si aprovechas esas dos posibilidades, obtendrás una experiencia de observación del Sol completa. En este apartado, encontrarás sugerencias para disfrutar de nuestro querido Sol.

Haz un seguimiento de las manchas solares



Cuando confíes en tu capacidad para observar el Sol de forma segura a través del método de la proyección o equipándolo con un filtro solar seguro, podrás dedicarte a estudiar las manchas solares siguiendo este plan:

- ✓ Observa el Sol tan a menudo como te sea posible.
- ✓ Fíjate en el tamaño y ubicación de las manchas solares y en los grupos de manchas del disco solar. Algunas manchas solares parecen diminutas. Si la mancha es realmente oscura y diminuta incluso a través del potente telescopio de un observatorio, es un *poro*. En cambio, si una mancha solar es lo suficientemente grande, puedes distinguir sus regiones. La parte central y oscura recibe el nombre de *umbra*, y la zona circundante que parece más oscura que el disco solar pero más clara que la *umbra* se llama *penumbra*.

- ✓ Cartografía el movimiento de las manchas solares a medida que el Sol haga un giro completo. Tarda veinticinco días (en el ecuador) o unos treinta y cinco días (cerca de los polos; sí, el Sol gira a ritmos distintos en diferentes latitudes, otra de sus muchas misteriosas e inesperadas propiedades).
- ✓ La Sección Solar de la Asociación de Observadores Planetarios y Lunares ofrece un formulario para registrar manchas solares en <http://alpoastronomy.org/solar/frml.pdf>. La Sección Solar de la BAA (Asociación Astronómica Británica) ofrece un formulario para dibujar las manchas llamado “Grid Drawing”, junto a otros formularios de observación solar. Debes visitar www.britastro.org, hacer clic en *Solar Section* y, a continuación, pulsar en el vínculo que conduce a la web Solar Section.

Cuando realices el seguimiento de manchas solares, quizá quieras comprobar cuántas ves en un día; esa cifra recibe el nombre de (¡adivina!) *número de manchas solares*. Puede que quieras hacer un seguimiento del número de manchas solares de un año a otro para comprobar si puedes medir el ciclo de manchas solares por tu cuenta. En los siguientes apartados, te ofrezco información sobre cómo calcular el número de manchas solares y dónde encontrar cifras oficiales.

Averigua tu número personal de manchas solares

Calcula tu propio número de manchas solares diarias utilizando esta fórmula:

$$R = 10g + s$$

R es tu número personal de manchas solares, g es el número de grupos de manchas solares que ves en el Sol y s es el número total de manchas solares que cuentas, lo que incluye las manchas en grupos. Las manchas solares suelen aparecer aisladas unas de otras en distintas partes del disco solar. Las manchas que están juntas en una parte del disco son un grupo. Una mancha completamente aislada se considera que forma su propio grupo (estos términos son bastante contradictorios, pero son los que, desde hace años, utilizan los científicos).

Supón que cuentas cinco manchas solares; tres están juntas en un lugar del Sol y las otras dos aparecen en dos puntos muy separados. Tienes tres grupos (el grupo de tres y los dos grupos formados por una mancha cada uno), por lo tanto,

g es 3. El número de manchas individuales es cinco, por lo tanto, s es 5.

$$R = (10 \times 3) + 5$$

$$R = 30 + 5$$

$$R = 35$$

¿Dónde encontrar los números oficiales de manchas solares?

El mismo día, distintos observadores dan distintos números personales de manchas solares. Si tienes mejores condiciones de observación y un telescopio más potente o, sencillamente, mejor imaginación, tú calcularás un número de manchas solares más elevado que tu vecino. Tú calculas $R = 59$, y el inútil de tu vecino solamente ha visto $R = 35$. Por lo que respecta al número de manchas solares, ¡le sacas ventaja! Pero si comparamos los jardines, ¿cuál está más bonito? Bueno, dejo ese debate a tus vecinos. ¿Te aclaras con la “R”?

Las autoridades que organizan y promedian los informes de muchos observatorios saben, por experiencia, que algunos observadores llevan un ritmo como el de tu vecino; otros no pueden ver tantas manchas solares; en cambio, otros, como tú, ven un número elevado. A partir de esta experiencia, las autoridades calibran cada observatorio u observador y hacen ajustes en recuentos futuros para promediar los informes y conseguir la mejor estimación del número de manchas solares para cada día.



Puedes comprobar el número de manchas solares diario (o cuando quieras) en www.spaceweather.com.

Los científicos esperaban que se produjera un punto máximo del ciclo de actividad solar en 2012. Sin embargo, después de un punto máximo, se pueden tardar varios años en determinar cuándo ocurrió en realidad. Si te perdiste el momento en cuestión, puedes observar cómo decrece el número de manchas hasta que el Sol llega al mínimo de su ciclo de actividad, etapa en la cual te puedes pasar meses sin dar con una mancha solar decente.

Experimenta eclipses solares

A diario, la mejor forma de ver la región más exterior y bonita del Sol, la corona, consiste en ver imágenes por satélite en las webs que incluyo en el siguiente apartado. De todas formas, ver la corona “en vivo y en directo” es un

espectáculo que no te puedes perder. Durante un eclipse total del Sol, la corona es uno de los mejores espectáculos de la naturaleza. Por eso, muchos aficionados a la astronomía ahorran durante años para tirar la casa por la ventana y hacer un crucero que les permita ver un gran eclipse (consulta el capítulo 2 para obtener información detallada al respecto). Los astrónomos profesionales también viajan hacia el eclipse, aunque ellos tengan satélites y telescopios espaciales a su disposición.

El Sol experimenta eclipses *parciales*, *anulares* y *totales*. El mayor espectáculo es el eclipse total; algunos eclipses anulares también hacen que el viaje valga la pena (durante un eclipse anular, un anillo fino y brillante de la fotosfera es visible alrededor del borde de la Luna). No merece la pena desplazarse cientos de kilómetros para ver un eclipse parcial porque no ves la cromosfera ni la corona, pero no cabe duda de que querrás comprobar si, de camino, puedes ver alguno. Al fin y al cabo, la primera y la última etapa de un eclipse total o anular son eclipses parciales, así que también tienes que saber cómo observar estas etapas.

Observa un eclipse con seguridad

Para observar un eclipse parcial, o las fases del eclipse parcial de un eclipse total, utiliza los filtros solares que describo en el apartado “La observación del Sol a través de filtros frontales” anteriormente en este capítulo. Puedes mirar con unos prismáticos o con telescopios equipados con filtros, ponerte un filtro delante de los ojos o utilizar la técnica que he descrito en el apartado “Observa el Sol mediante una proyección”.

Un eclipse total suele empezar con una fase parcial, que comienza con el *primer contacto*, cuando el borde de la Luna llega por primera vez al borde del Sol. Ahora, ves un *eclipse parcial* de Sol, lo que significa que estás en la *penumbra*, o sombra exterior menos oscura, de la Luna (consulta la figura 10-5).

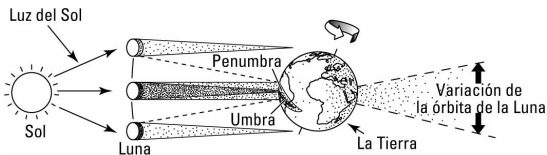


Figura 10-5:
Qué ocurre cuando la Luna eclipsa al Sol

En un *segundo contacto*, el borde de entrada de la Luna llega al otro extremo

del Sol, y bloquea por completo al Sol, así que no puedes verlo. Ahora, eres testigo de un eclipse total; tú estás en la oscura *umbra*, o sombra central, de la Luna. Puedes apartar tu filtro de observación o del filtro de los prismáticos con filtro y observar la fantástica vista del Sol totalmente eclipsado. Pero no mires fijamente al Sol cuando acabe la totalidad porque no es seguro.



La corona forma un halo blanco y brillante alrededor de la Luna, quizá con franjas largas que se extienden a este y oeste. Puede que veas brillantes rayos en la corona, que salen de los extremos norte y sur de la Luna. Busca pequeños y brillantes puntos rojos, que son las protuberancias solares a veces visibles a simple vista durante los breves momentos del eclipse. La delgada banda roja a lo largo del limbo de la Luna es la cromosfera solar, que se observa mejor en unos eclipses totales que en otros. Cerca del máximo del ciclo de actividad solar de once años, la corona suele ser circular, pero cerca del mínimo del ciclo, la corona se estira de este a oeste. La corona adopta una forma distinta durante cada eclipse.

No son las gafas en 3-D de tu papá

Rainbow Symphony vende gafas para ver eclipses que se parecen a las gafas para ver películas en 3-D. Están pensadas para ver fases parciales de un eclipse total o cualquier fase de un eclipse solar parcial. Las puedes ver en la web de Rainbow Symphony, www.rainbowsymphony.com. Thousand Oaks Optical (www.thousandoaksoptical.com) ofrece un producto similar que llama Solar Viewers. Ambas gafas son relativamente económicas. Si invitas a tus familiares o amigos a ver un eclipse solar, te sugiero que lles un par para cada uno.



Hay personas que quitan los filtros solares de sus prismáticos o telescopios y miran al Sol totalmente eclipsado a través de estos instrumentos sin protección. Este enfoque es muy peligroso si:

- ✓ Miras demasiado pronto, antes de que el Sol esté totalmente eclipsado.
- ✓ Miras demasiado rato (una forma muy fácil de sufrir un accidente) y sigues mirando a través de un instrumento óptico después de que el Sol empiece a salir tras la Luna.

¡Ten cuidado! Como he explicado en la nota de advertencia anterior, recomiendo encarecidamente no observar el Sol con telescopio ni con prismáticos si no tienes filtros, incluso durante un eclipse total, a menos que hagas la observación bajo el control de un experto. A veces, por ejemplo, el responsable de una excursión o de un crucero para ver un eclipse utiliza un sistema de altavoces público, cálculos informáticos y el conocimiento que le ofrece su observación personal para avisarte de cuándo puedes ver el Sol eclipsado. También te dirá con suficiente antelación cuándo debes parar.

Según mi experiencia (¡que fue dolorosa!), la forma más fácil de hacerte daño es seguir mirando a través de los prismáticos o el telescopio “sólo un segundo más”, cuando una parte diminuta de la superficie visible brillante del Sol empieza a aparecer desde detrás de la Luna. Esa parte brillante y diminuta puede que no te haga desviar la mirada porque no parece lo suficientemente brillante. No te das cuenta de que los rayos infrarrojos (que son invisibles) de la pequeña parte expuesta de la superficie solar dañan tus ojos sin deslumbrarte ni causarte un dolor inmediato. En unos minutos, empezarás a notar dolor. Para entonces, el daño ya está hecho.

En cambio, si haces observaciones de forma segura, sigues todas las instrucciones y no corres riesgos al observar el Sol, ¡puedes disfrutar de muchos más eclipses de Sol totales!

Busca bandas de sombra, perlas de Baily y el anillo de diamantes

Otra razón para no observar el Sol con instrumentos ópticos durante la fase total de un eclipse es que, a simple vista, puedes buscar muchas cosas por todo el cielo.



Aquí tienes algunos fenómenos espectaculares que puedes buscar durante un eclipse:

- ✓ Justo antes de la totalidad, pueden aparecer las denominadas *bandas de sombra*. Son patrones relucientes y de bajo contraste de franjas

oscuras y claras que cruzan el suelo o, si estás en el mar, la cubierta del barco. Las bandas son un efecto óptico producido en la atmósfera de la Tierra cuando el Sol mengua hasta una última pequeña franja antes de quedar completamente eclipsado detrás de la Luna.

- ✓ Las perlas de Baily se ven unos instantes antes y después de la totalidad, cuando pequeñas regiones de la brillante superficie solar brillan a través de brechas entre montañas y bordes de cráteres en el limbo de la Luna. En un momento, puede que sólo haya una perla muy brillante. Los astrónomos la llaman *anillo de diamantes* (la brillante corona interior parece un anillo estrecho alrededor de la Luna, y la perla brillante es el “diamante”).
- ✓ Los animales salvajes (y los domésticos, si estás cerca de una granja) reaccionan de forma muy evidente ante un eclipse. Los pájaros se detienen a descansar, las vacas vuelven al establo y así sucesivamente. Durante un eclipse en el siglo XIX, algunos de los principales científicos montaron sus instrumentos en un establo, apuntando sus telescopios al cielo a través de la puerta. ¡Menuda sorpresa se llevaron cuando empezó la totalidad y el ganado entró en el establo en estampida!
- ✓ En los sitios en los que la luz del Sol brilla a través de las hojas de un árbol, se suele ver en el suelo un dibujo moteado formado por pequeñas manchas brillantes con la forma del Sol. Antes de que empiece el eclipse, las motas son circulares, como el Sol no eclipsado. Durante el eclipse parcial, las motas parecen medias lunas, después, lunas crecientes, y cambian de forma según la fase en la que se encuentre el eclipse. Puedes observar este tipo de motas sin necesidad de árboles; basta con coger un colador de cocina y dejar que el Sol brille a través de sus agujeros durante un eclipse.



Cuando el Sol se eclipsa totalmente, mira al cielo oscuro que rodea al Sol. Tienes una ocasión rara de ver estrellas durante el día. Los artículos publicados en revistas de astronomía o en sus sitios web te indican qué estrellas y planetas buscar durante un eclipse solar total. O te lo puedes imaginar simulando el cielo en la fecha y momento del eclipse usando tu *software* planetario o una

aplicación de *smartphone* similar (consulta el capítulo 2). Lo único que tienes que hacer es fijar el programa para que muestre el cielo tal y como será desde el lugar en el que esperas hacer la observación.

Sigue la franja de totalidad

La totalidad acaba en el *tercer contacto*, cuando el borde de salida de la Luna se empieza a retirar del disco solar. En el último momento de la totalidad, puede aparecer una pequeña y brillante zona de la fotosfera desde detrás de la Luna. Entonces, verás el *anillo de diamantes* que te he descrito. En este momento, has vuelto a la penumbra, y puedes ver un eclipse parcial. En el *cuarto* o *último contacto*, el borde de salida de la Luna se desplaza más allá del extremo del Sol. El eclipse ha terminado.

Desde el primer hasta el último contacto, todo el eclipse puede que dure unas horas, pero la parte buena, la totalidad, dura desde menos de un minuto a poco más de siete minutos.

Dentro de la *franja de totalidad* (el camino desde el centro de la sombra de la Luna a través de la superficie de la Tierra) se disfruta de la máxima duración. En los demás puntos de la franja, la totalidad es más breve. Evidentemente, el lugar en el que el eclipse tiene una duración máxima puede que no sea donde las perspectivas sean mejores, o quizá no sea un lugar al que puedas llegar fácilmente o con seguridad. Por eso es crucial planificar con antelación el desplazamiento para ver el eclipse. En esos lugares, los hoteles, moteles, coches de alquiler y demás suelen reservarse como mínimo un año o dos antes de que se produzca el eclipse.

Para planificar tu viaje y ver un eclipse, elige uno adecuado de los que aparecen en la tabla 10-1 y empieza a investigar la mejor forma de verlo.

Tabla 10-1. Próximos eclipses totales del Sol		
<i>Fecha de eclipse total</i>	<i>Duración máxima (minutos y segundos)</i>	<i>Franja de totalidad</i>
3 de noviembre de 2013	1.40	A través del Atlántico hasta África, desde Gabón a Uganda, Kenia y Etiopía.
20 de marzo de 2015	2.47	A través del Atlántico Norte, del sur de Groenlandia a las Islas Faroe, mar de Noruega, Isla Spitsbergen y casi el polo norte.
9 de marzo de 2016	4.09	Desde el océano Índico a través de Sumatra, Borneo, mar de Filipinas y Pacífico Norte.
21 de agosto de 2017	2.40	Desde el Pacífico Norte a través de Estados Unidos continental a través de Oregón, Idaho, Wyoming, Nebraska, Missouri, Kentucky, Tennessee y Carolina del Sur y a través del Atlántico.
2 de julio de 2019	1.02	A través del Pacífico Sur, Chile y Argentina.
14 de diciembre de 2020	2.10	A través del Pacífico Sur, Chile y Argentina y a través del Atlántico Sur.
4 de diciembre de 2021	1.54	A través del océano Antártico, Antártida, mar de Weddell, océano Antártico de nuevo y Atlántico Sur.
8 de abril de 2024	4.28	Océano Pacífico, México, este de los Estados Unidos y Atlántico Norte



Pocos años antes de que se produzca un eclipse, empiezan a aparecer artículos en revistas de astronomía con información sobre los pronósticos meteorológicos y la logística para observarlo desde distintos puntos. Visita las webs de las revistas *Sky & Telescope* y *Astronomy* (consulta el capítulo 2 si buscas más información). Busca anuncios de viajes para ver el eclipse en las revistas y por internet. Consulta las predicciones de eclipses más fiables en la web de eclipses de la NASA:

<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>. Vuelve al capítulo 2 para ver lo que aconsejo acerca de los viajes para ver eclipses. ¡Que te diviertas!

Dónde encontrar imágenes solares por internet

Puedes ver fotografías profesionales actuales o recientes del disco solar y las manchas solares (lo que los astrónomos solares llaman fotografías de luz blanca porque esta luz es toda la luz visible del Sol) en varios sitios web. Un buen lugar es la web del Observatorio Astrofísico de Catania (Italia), que puedes encontrar en web.ct.astro.it/sun. La foto de luz blanca es la que se titula *Continuum*, un término técnico que significa que no se utilizó ningún filtro de color para hacer la fotografía. Si quieres adquirir experiencia para identificar grupos de manchas solares y contarlas, practica con estas fotos.

A veces, hay nubes sobre Catania, así que puedes mirar en otros sitios para ver fotos de luz blanca profesionales del disco solar. Un buen lugar es la página de Full Disk Observations, del Big Bear Solar Observatory de California, www.bbso.njit.edu/cgi-bin/LatestImages. Como en el espacio nunca está nublado, puedes echar un vistazo a la imagen actual del Sol con luz blanca en el Observatorio de Dinámica Solar de la NASA. Visita <http://umbra.nascom.nasa.gov/images> y pulsa en la imagen llamada *Continuum 4500 Å*.

Si no se produce un eclipse total no podrás ver la corona por tu cuenta, pero sí que puedes ver imágenes de luz blanca de la corona tomadas desde *SOHO*, un satélite desarrollado por la Agencia Espacial Europea y la NASA, en la web The Very Latest SOHO Images (<http://soho.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html>). Son las imágenes etiquetadas con el nombre de “LASCO”.

Puedes ver mapas del campo magnético solar en las webs de algunos observatorios profesionales, entre los que se incluye el Observatorio Solar Wilcox de la Universidad de Stanford (<http://wso.stanford.edu>). Otra fuente es el NSO (Observatorio Solar Nacional), donde se hace referencia a los magnetogramas como *VSM Data* en la web http://solis.nso.edu/vsm_fulldisk3.html (VSM es el acrónimo de vector espectomagnetógrafo, un telescopio diseñado para medir los campos magnéticos en el Sol).

Cuando te hayas convertido en un astrónomo avanzado y quieras fotografiar escenas celestes a través de tu telescopio, quizá quieras hacer fotografías al Sol. Puedes encontrar ejemplos en el Observatorio Mount Wilson, donde los

investigadores han estado fotografiando el Sol desde 1905. Observa la fantástica imagen de la silueta de un avión con el Sol con manchas de fondo y la imagen del mayor grupo de manchas solares que se ha fotografiado nunca, del 7 de abril de 1947. Si tienes la suerte de ver un grupo de manchas solares incluso la mitad de grande, puede que seas capaz de verlo no sólo con un telescopio, sino también mirando por un filtro solar sin ninguna otra ayuda óptica. Si quieres ver históricas fotografías solares de luz blanca, visita la web de Mount Wilson, <http://physics.usc.edu/solar/direct.html>.

Los astrónomos estudian el Sol con todo tipo de luz, no sólo luz blanca. Su investigación incluye imágenes tomadas con radiación ultravioleta, ultravioleta extrema y rayos X, formas de luz invisibles a los ojos que son bloqueadas por la atmósfera de la Tierra. Las fotografías se toman con telescopios montados en satélites que orbitan alrededor de la Tierra a gran altitud o con sondas espaciales ubicadas mucho más lejos que orbitan alrededor del Sol, como la Tierra. Las imágenes del Sol procedentes de los satélites y de muchos telescopios en la Tierra puedes verlas en la página web Current Solar Images de la NASA, <http://umbra.nascom.nasa.gov/images/latest.html>.

Otra gran fuente de imágenes solares es el SDO (Observatorio de Dinámica Solar), lanzado en 2010. Encontrarás imágenes y videos en la web del SDO, www.nasa.gov/mission_pages/sdo/main/index.html. Si aún quieres ver más imágenes y videos de la NASA, visita el sitio web de la misión STEREO, <http://stereo.gsfc.nasa.gov>.

El Sol es patrimonio de la humanidad, así que obsérvalo a menudo. ¡Te alegrará haberlo hecho!

Capítulo 11

Viaje a las estrellas

En este capítulo

- ▶ El ciclo de vida de las estrellas
 - ▶ Estimación de las propiedades estelares
 - ▶ Estudia las estrellas binarias, múltiples y variables
 - ▶ Encuentra personalidades estelares
 - ▶ Observa estrellas y únete a proyectos de ciencia ciudadana
-

Cientos de miles de millones de estrellas, como el Sol, forman la Vía Láctea (también llamada “la Galaxia”), donde se encuentra la Tierra. Del mismo modo, los miles de millones de otras galaxias que se encuentran en el universo contienen enormes números de estrellas. Al igual que las personas, las estrellas encajan en docenas de clasificaciones. La inmensa mayoría se incluye en varios tipos simples. Estos tipos corresponden a etapas del ciclo de vida de las estrellas, igual que uno clasifica a las personas según su edad.

Cuando comprendas qué es una estrella y cómo es su ciclo de vida, apreciarás esas luces resplandecientes del cielo nocturno y también otros elementos que no brillan tanto.

En este capítulo destacaré la masa inicial de una estrella (la masa con la que nació) como el principal factor que determinará en qué se convertirá. Después me centraré en las propiedades clave de las estrellas, junto con las características de las estrellas binarias, múltiples y variables que las convierten en algo tan fascinante.

Y ninguna conversación sobre las estrellas está completa sin algún cotilleo sobre los famosos, así que te presento a algunas celebridades del cielo nocturno que querrás conocer, puesto que son los personajes más famosos del vecindario solar.

Ciclo de vida de las estrellas calientes y masivas

Las categorías de estrellas más importantes corresponden a las sucesivas etapas del ciclo de vida de una estrella: bebé, adulto, sénior y moribunda. (No, no hay adolescentes. El universo saltó directamente desde su tierna infancia hasta la edad adulta.) Evidentemente, ningún astrofísico que se precie utiliza esos términos. Los astrónomos se refieren a las etapas de las estrellas como objetos estelares jóvenes, estrellas de secuencia principal, gigantes rojas y estrellas en las etapas finales de la evolución estelar, respectivamente. Muchas estrellas en realidad no mueren, sino que continúan en un estado nuevo, se convierten en enanas blancas, estrellas de neutrones o agujeros negros. Sin embargo, en algunos casos, quedan totalmente destruidas.

Éste es el ciclo de una estrella normal de una masa parecida a la del Sol:

- 1. El gas y el polvo de una nebulosa fría se condensan y forman un objeto estelar joven.**
- 2. Al contraerse, el objeto estelar joven esparce los restos de la nube de origen y enciende un “fuego” de hidrógeno.** Es decir, se produce la fusión nuclear, tal y como explico en el capítulo 10.
- 3. A medida que el hidrógeno se quema, la estrella se incorpora a la secuencia principal.** Describo esta etapa de la vida estelar en el apartado “Estrellas de la secuencia principal: cómo disfrutar de una longeva edad adulta”, más adelante en este capítulo.
- 4. Cuando la estrella agota todo el hidrógeno de su núcleo, se enciende el hidrógeno de la cáscara (una región más grande que rodea al núcleo).**
- 5. La energía liberada por la quema de la cáscara de hidrógeno hace que la estrella sea más brillante y que se expanda, lo que provoca que su superficie sea más grande, más fría y más roja. La estrella se ha convertido en una gigante roja.**
- 6. Los vientos estelares que emanan de la estrella expulsan poco a poco sus capas externas y se forma así una nebulosa planetaria alrededor del restante núcleo estelar caliente.**
- 7. La nebulosa se expande y se disipa en el espacio y sólo deja caliente el núcleo.**
- 8. El núcleo, que ahora es una estrella enana blanca, se enfría y se apaga para siempre.**

Las estrellas de masas mucho más grandes que la del Sol tienen ciclos de vida distintos; en lugar de producir nebulosas planetarias y morir como enanas blancas, explotan como supernovas y dejan atrás estrellas de neutrones o agujeros negros. El ciclo de vida de una estrella masiva avanza rápidamente; el

Sol puede durar diez mil millones de años, pero una estrella que empieza con una masa que es veinte o treinta veces la masa del Sol explota al cabo de unos cuantos millones de años después de su nacimiento.

Las estrellas con menos masa que el Sol apenas tienen ciclo de vida. Empiezan como objetos estelares jóvenes e ingresan en la secuencia principal para permanecer como enanas rojas para siempre. La explicación para este hecho es un principio fundamental de la astrofísica estelar: cuanto mayor es la masa, más feroz y más rápido es el fuego nuclear; cuanto menor es la masa, menos feroz es el fuego y más perdura.

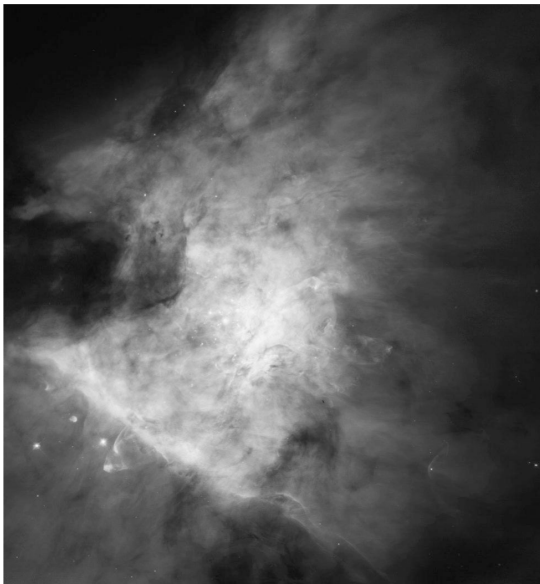
Cuando nuestro Sol agote su núcleo de hidrógeno, tendrá una edad de, como mínimo, nueve mil millones de años. Sin embargo, a efectos prácticos una estrella enana roja quema hidrógeno tan despacio que brilla en la secuencia principal para siempre (si hubiera tiempo, una enana roja agotaría su combustible de hidrógeno, pero esa cantidad de tiempo es mucho mayor que la edad del universo, de forma que todas las enanas rojas que existieron alguna vez todavía resisten hoy en día).

En los siguientes apartados se describen las etapas estelares con más detalle.

Objetos estelares jóvenes: sus primeros pasos

Los *objetos estelares jóvenes* son estrellas recién nacidas que todavía están rodeadas o arrastradas por la nube de la que nacieron. La clasificación incluye a las *estrellas T Tauri*, llamadas así en honor a la primera de este tipo, la estrella T de la constelación Tauro y objetos *Herbig-Haro*, llamados así en honor a los dos astrónomos que las clasificaron (de hecho, los objetos H-H son brillantes burbujas de gas expulsado en direcciones opuestas desde la estrella joven que, normalmente, está oculta por el polvo de su nube de origen). Los objetos estelares jóvenes forman guarderías estelares (denominadas *regiones H II*) como la Nebulosa de Orión (consulta la figura 11-1), en la que en los últimos millón o dos millones de años han nacido cientos de estrellas.

Muchas de las espectaculares imágenes de nebulosas con aspecto de chorros, o *jets*, que nos ha proporcionado el telescopio espacial *Hubble* son imágenes de objetos estelares jóvenes. Esos *jets* y otros elementos del entorno de las nebulosas son bien visibles, pero las estrellas a veces apenas se ven (si es que puedes verlas), ya que están ocultas por el gas y el polvo circundantes. (Consulta el capítulo 12 para obtener más información sobre nebulosas.)



Cortesía de C. R. O'Dell (Rice University) y la NASA

Figura 11-1:

La nebulosa de Orión acuna a muchos objetos estelares jóvenes

Estrellas de la secuencia principal: cómo disfrutar de una longeva edad adulta

Las *estrellas de la secuencia principal*, que incluyen a nuestro Sol, se han desprendido de sus nubes de origen y ahora brillan gracias a la fusión nuclear del hidrógeno, que se transforma en helio, que se produce en el núcleo (consulta el capítulo 10 para obtener más información sobre la fusión nuclear del Sol). Por

razones históricas, volviendo a la época en la que los astrónomos clasificaban estrellas antes de comprender sus diferencias, las estrellas de la secuencia principal también se denominan *enanas*. Una estrella de la secuencia principal es una enana aunque tenga diez veces más masa que el Sol.



Cuando los astrónomos y los autores de textos científicos se refieren a “estrellas normales”, suelen hablar de estrellas de la secuencia principal. Cuando escriben sobre “estrellas similares al Sol”, quieren decir estrellas de la secuencia principal de una masa comparable a la del Sol, aproximadamente un factor de no más de dos. Los escritores también puede que distingan entre estrellas de la secuencia principal, independientemente de lo masivas que sean, y estrellas como las enanas blancas y las estrellas de neutrones.

Las estrellas más pequeñas de la secuencia principal (mucho menos masivas que el Sol) son *enanas rojas*, que brillan con un resplandor rojo apagado. Las enanas rojas tienen poca masa, pero son muy abundantes. La gran mayoría de las estrellas de la secuencia principal son enanas rojas. Igual que los mosquitos a orillas de los ríos, estas estrellas flotan a tu alrededor, pero no puedes verlas. Las enanas rojas son tan tenues que no puedes ver ni la que está más cerca, Próxima Centauri (que es la estrella conocida más cercana más allá del Sol) sin ayuda de un telescopio.

Las enanas rojas son mucho más pequeñas, menos masivas y mucho más tenues que estrellas como el Sol, y quizá estés tentado de pasarlas por alto. Sin embargo, tal y como he mencionado anteriormente en este capítulo, una enana roja dura para siempre, mientras que estrellas más masivas, como el Sol, al final, mueren. Quizá estemos orgullosos de nuestro Sol, pero esas enclenques enanas rojas reirán las últimas.

Gigantes rojas: la quema de los años dorados

Las estrellas *gigantes rojas* son harina de otro costal. Las gigantes rojas son mucho más grandes que el Sol. A menudo, la longitud de su ecuador es equivalente a la órbita de Venus o incluso a la de la Tierra. Las gigantes representan una etapa posterior en la vida de una estrella de *masa intermedia* (desde varias veces más a algo menos que la masa del Sol) tras pasar de categoría en la secuencia principal (consulta el apartado anterior).

Una gigante roja no quema hidrógeno en su núcleo; de hecho, quema hidrógeno en una región esférica fuera del núcleo llamada *capa de combustión*

de hidrógeno. Una gigante roja no puede quemar hidrógeno en su núcleo porque ya ha convertido todo el hidrógeno de su núcleo en helio a través de la fusión nuclear.

Las estrellas más grandes son las más solitarias

Los observadores de SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence; búsqueda de inteligencia extraterrestre, consulta el capítulo 14 si quieres obtener información más detallada al respecto) no apuntan sus radiotelescopios a estrellas masivas para buscar señales de radio de civilizaciones avanzadas. ¿Por qué no? Porque las estrellas masivas explotan y mueren al cabo de unas vidas tan cortas que los científicos no pueden imaginar que se haya desarrollado vida inteligente (ni siquiera vida primitiva) en ningún planeta circundante antes de que llegue el final.

Las estrellas masivas son mucho más raras que las estrellas de masa baja. Cuanto más masivas sean, menos habrá. Por eso, al final, cuando las estrellas existentes envejecen y se agotan las nubes de origen para estrellas nuevas, la Vía Láctea estará formada prácticamente por dos tipos de estrellas: las enanas rojas que duran más o menos siempre y las enanas blancas que se irán apagando. Sí, las estrellas de neutrones y los agujeros negros de masa estelar salpicarán la Vía Láctea, pero como representan los restos de las más escasas estrellas masivas, serán insignificantes desde el punto de vista numérico en comparación con las enanas blancas y rojas, que proceden de los tipos más abundantes de estrellas de la secuencia principal.

Las estrellas son como las personas: las más grandes son escasas, como los jugadores de baloncesto de más de 2,26 metros de altura.

Las estrellas mucho más masivas que el Sol no se convierten en gigantes rojas, sino que crecen tanto que los astrónomos las llaman *supergigantes rojas*. Una supergigante roja típica puede ser mil o dos mil veces más grande que el Sol y lo suficientemente grande para superar la órbita de Júpiter, o incluso Saturno, si se pusiera en lugar del Sol.

Hora de cerrar: la última parte de la evolución estelar

Estados finales de la evolución estelar es un término amplio que engloba a estrellas cuyos mejores años hace tiempo que han quedado atrás. En esta

categoría, se incluyen:

- ✓ Estrellas centrales de nebulosas planetarias.
- ✓ Enanas blancas.
- ✓ Supernovas.
- ✓ Estrellas de neutrones.
- ✓ Agujeros negros.

Todos estos objetos son estrellas que están en la recta final del camino hacia el olvido.

Estrellas centrales de nebulosas planetarias

Las estrellas centrales de las nebulosas planetarias son pequeñas estrellas que hay en el centro (¡algo bastante obvio!) de un determinado tipo de nebulosas pequeñas y bonitas (puedes ver una foto en la galería de nuestra página web). Estas nebulosas no tienen nada que ver con los planetas, pero en los primeros telescopios, sus imágenes parecían planetas verdes como Urano, de ahí su nombre.

Las estrellas centrales de nebulosas planetarias son como las enanas blancas. De hecho, se convierten en enanas blancas. Por eso, las estrellas centrales también son restos de estrellas similares al Sol. Las nebulosas, compuestas por gas que una estrella expulsó durante decenas de miles de años, se expanden, se disipan y se extinguen. Al final, dejan atrás estrellas que ya no sirven como centro de nada, y se convierten en enanas blancas.

Enanas blancas

Las enanas blancas de hecho pueden ser blancas, amarillas o incluso rojas, en función de lo calientes que estén. Las enanas blancas son restos de estrellas similares al Sol, como esos viejos generales que, según Douglas MacArthur, nunca mueren, sólo se apagan.

Una enana blanca es como las brasas de un fuego recién extinguido. Ya no arden, pero aún dan calor. Las enanas blancas son las estrellas más comunes después de las enanas rojas, pero incluso la enana blanca más próxima a la Tierra es demasiado tenue para que pueda verse sin telescopio.

Las enanas blancas son estrellas compactas, pequeñas y muy densas. Una enana blanca típica puede tener tanta masa como el Sol, sin embargo, ocupa

tanto espacio como la Tierra, o un poco más. Hay tanta materia metida en un espacio tan pequeño que una cucharada de café de enana blanca pesaría alrededor de una tonelada en la Tierra. No intentes medirla con tu cuchara de plata de la cubertería de fiesta porque la deformarás.

Supernovas

Las *supernovas* (que los expertos llaman *supernovae*, como si todos estudiaran latín, como los científicos de antaño) son enormes explosiones que destruyen estrellas enteras (consulta la figura 11-2). Existen varios tipos de supernovas, pero te presento las dos variedades principales.

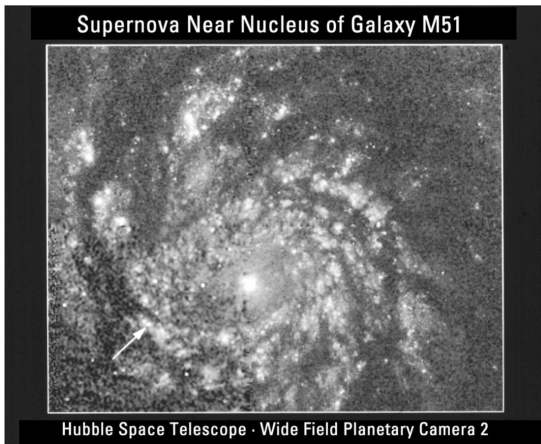
El primer tipo que debes conocer es el de tipo II (oye, y o no inventé el sistema de numeración). Una supernova de tipo II es la explosión brillante y catastrófica de una estrella mucho más grande, brillante y masiva que el Sol. Antes de que la estrella explotara, era una supergigante roja o quizá estaba lo suficientemente caliente para ser una supergigante azul. Independientemente del color, cuando explota una supergigante, puede que deje atrás un pequeño recuerdo: una estrella de neutrones. Otra posibilidad es que gran parte de la estrella implusione (caiga sobre su propio centro) de forma tan efectiva que deje atrás un objeto todavía más extraño, un agujero negro.

El segundo tipo importante de supernova recibe el nombre de tipo Ia. Estas supernovas son más brillantes que las de tipo II, y explotan de una forma fiable. El brillo o luminosidad real de una supernova de tipo Ia siempre es aproximadamente igual; por lo tanto, cuando los astrónomos observan una supernova de tipo Ia, podemos hacernos una idea de lo lejos que está por el brillo que parece tener para nosotros en la Tierra. Cuanto más lejos esté, más tenue parecerá la supernova. Los astrónomos utilizan las supernovas de tipo Ia para medir el universo y su expansión. En 1998, dos grupos de astrónomos que estudiaban las supernovas de tipo Ia descubrieron que la expansión del universo no era progresivamente más lenta, sino que se está expandiendo a una velocidad cada vez mayor. Este descubrimiento iba en contra de la creencia anterior, así que hizo que los expertos revisaran sus teorías de cosmología y del Big Bang, y reconocieran la existencia de la misteriosa *energía oscura* (describo la energía oscura y el Big Bang en el capítulo 16).

Todas las supernovas de tipo Ia producen explosiones similares porque su erupción se produce en sistemas binarios (se explican más adelante en este capítulo) en las que el gas de una estrella fluye hacia otra (una enana blanca), creando una capa exterior caliente que llega a una masa crítica y, entonces, explota y hace añicos la enana blanca. Sin la suficiente masa crítica, no se produce explosión. Con masa crítica, se produce una explosión estándar. Si hay más cantidad que la masa crítica... ¡espera un segundo! ¡No puedes tener más masa que la masa crítica porque la estrella ya ha explotado! La astrofísica no es

tan difícil, ¿verdad?

Los expertos llevan años discutiendo cuál es el tipo de sistema binario que produce una supernova de tipo Ia. Según una teoría, las dos estrellas del sistema son una enana blanca y una estrella más grande, como el Sol. La enana blanca absorbe gas de su compañera mayor. Otra teoría propone que las dos estrellas de un sistema binario son enanas blancas. En el momento de publicar este libro, a mediados de 2013, parecía que ambas teorías eran correctas; algunas supernovas proceden del tipo de sistema estrella grande/estrella pequeña, y otras, del sistema de estrellas iguales.



Cortesía de la NASA

Figura 11-2:

Una supernova en la galaxia espiral M51

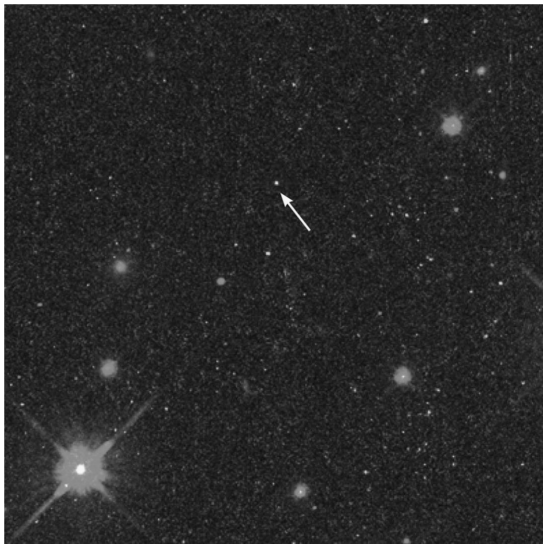
Estrella de neutrones

Las *estrellas de neutrones* son diminutas en comparación con las enanas blancas, pero, al mismo tiempo, tienen un peso superior al de las enanas blancas (en realidad, lo que es superior es su masa. El peso es solamente la fuerza que un

planeta o bien otro cuerpo ejerce en un objeto de una masa determinada. Tú pesarias diferentes kilos en la Luna, Marte y Júpiter que en la Tierra, aunque tu masa siga siendo la misma, a menos que comas demasiado o hagas una dieta de choque).

Las estrellas de neutrones son como Napoleón: de pequeña estatura, pero algo que no se debe subestimar (la figura 11-3 presenta una estrella de neutrones). Una estrella de neutrones típica mide sólo una o dos docenas de kilómetros de diámetro, pero tiene una vez y media, o incluso dos veces, la masa del Sol. Una cucharada de café de material de las estrellas de neutrones pesaría alrededor de 1.000 millones de toneladas en la Tierra.

Algunas estrellas de neutrones se conocen como *púlsares*. Un pulsar es una estrella de neutrones altamente magnetizada y que gira muy rápido. Produce uno o más haces de radiación (que pueden ser ondas de radio, rayos X, rayos gamma y/o luz visible). Estos haces aparecen y desaparecen al pasar sobre la Tierra, de forma parecida al haz de luz que emite un faro, por eso nuestros telescopios reciben aumentos breves de radiación que llamamos *pulsos*. Adivina cómo se puso el nombre a los púlsares... La velocidad de tu pulso te indica la velocidad a la que te late el corazón. La velocidad de un pulsar te indica lo rápido que gira, y puede ser desde varios cientos de veces por segundo a una vez cada varios segundos.



Cortesía de Fred Walter (State University of New York at Stony Brook) y la NASA

Figura 11-3:

Una estrella de neutrones (en la flecha) fotografiada por el telescopio espacial *Hubble*

Agujeros negros

Los *agujeros negros* son objetos tan densos y compactos que hacen que las estrellas de neutrones y las enanas blancas parezcan algodón de azúcar. En un agujero negro, hay tanta materia metida en un espacio tan pequeño que su gravedad es lo suficientemente fuerte para impedir que cualquier cosa, incluso un rayo de luz, se escape. Los físicos tienen la teoría de que el contenido de un agujero negro a todos los efectos ha dejado nuestro universo. Si caes en un

agujero negro, puedes despedirte de tu universo para siempre.

No puedes ver la luz de un agujero negro porque la luz no sale de allí, pero los científicos pueden detectarlos por sus efectos en los objetos circundantes. La materia que se encuentra cerca de un agujero negro se calienta y se acelera localmente, pero nunca se organiza, sino que la potente gravedad del agujero negro la atrae a su interior, y “eso es todo, amigos”.

De hecho, he simplificado demasiado; parte de la materia que gira en espiral alrededor del agujero negro sí que se escapa, justo a tiempo, a veces. El agujero lo expulsa en potentes chorros a una fracción importante de la velocidad de la luz (que es de 300.000 kilómetros por segundo en un vacío como el del espacio exterior).

Los científicos detectan agujeros negros de esta forma:

- ✓ Mediante los gases que giran a su alrededor y que están demasiado calientes para estar en condiciones normales.
- ✓ Por los chorros de partículas de energía elevada que se escapan y evitan caer en el agujero negro.
- ✓ A través de las estrellas que recorren órbitas a velocidades fantásticas, conducidas por la fuerza gravitatoria de una enorme masa invisible.

Los astrónomos han encontrado muchas pruebas de dos tipos básicos de agujeros negros e información limitada, pero creciente, de una tercera clase. Aquí tienes un resumen de las tres clases:

- ✓ **Agujeros negros de masa estelar:** Estos agujeros negros tienen (sí, lo has adivinado) la masa de una estrella, concretamente van desde unas tres veces la masa del Sol hasta quizá unos cientos de veces la masa solar, a pesar de que los astrónomos no hayan encontrado ninguna que tuviera este peso. Los agujeros negros de masa estelar tienen el tamaño aproximado de una estrella de neutrones. Un agujero negro que tenga diez veces la masa del Sol tiene un diámetro de unos 60 kilómetros. Si pudieras comprimir el Sol hasta un tamaño lo suficientemente compacto para hacer un agujero negro (por suerte, probablemente sea imposible), su diámetro sería de 6 kilómetros. Los agujeros negros de masa estelar se forman en las explosiones de supernovas y quizá también por otros medios.
- ✓ **Agujeros negros supermasivos:** Estos monstruos tienen masas de

cientos de miles hasta más de 20 mil millones de veces la masa del Sol (si quieres ver ejemplos, consulta la tabla 13-1 “Medidas de un agujero negro”). En general, los agujeros negros supermasivos están situados en los centros de las galaxias. Quiero decir que “gravitan” allí, pero lo más probable es que se formen allí, o que la galaxia se forme a su alrededor. La Vía Láctea tiene un agujero negro central, conocido como Sagitario A* (no, el asterisco no indica que haya una nota al pie. Cuando digas el nombre en voz alta, di *Sagitario A Asterisco*). Tiene unos 4 millones de masas solares, y, nosotros, en el Sistema Solar, orbitamos alrededor de ese agujero negro una vez cada 226 millones de años. Éste es el último valor que dio el *Very Long Baseline Array*, un radiotelescopio compuesto de varias antenas que se extienden por Estados Unidos, desde las Islas Vírgenes, a través de Norteamérica hasta llegar a Hawái. Los astrónomos piensan que existe un agujero negro supermasivo en el centro de cualquier galaxia o, como mínimo, en el centro de cualquier galaxia de tamaño estándar. No estamos seguros acerca de las galaxias enanas (si deseas más información sobre las galaxias, consulta el capítulo 12).



Cuando hablo sobre el tamaño de un agujero negro, me refiero al diámetro de su *horizonte de sucesos*. El horizonte de sucesos es la superficie esférica alrededor del agujero negro donde la velocidad necesaria para que algo escape del agujero negro es igual a la velocidad de la luz. Fuera del horizonte de sucesos, la velocidad de escape es más pequeña, por eso la luz o incluso la materia a alta velocidad puede escapar.

- ✓ **Agujeros negros de masa intermedia:** Los agujeros negros de masa intermedia son un tipo de agujeros negros que se comprenden poco, es decir, los astrónomos no saben lo que son. Han estimado masas que van desde unos cientos hasta diez mil o más veces la masa del Sol. Un agujero negro de masa intermedia es más masivo que cualquier estrella conocida, así que probablemente no se formó por la extinción de una única estrella (que es como se forman los agujeros negros de masa estelar). Por otra parte, los agujeros negros de masa intermedia se encuentran fuera de las regiones centrales de las galaxias, mientras que los agujeros negros supermasivos siempre se encuentran en los centros de las galaxias, donde probablemente se formaron. Por lo tanto, los agujeros negros de masa intermedia no se forman donde lo

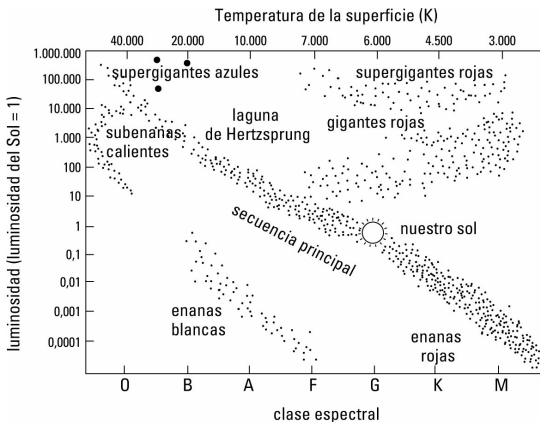


hacen los agujeros negros supermasivos y no se crean en la extinción de una estrella, como en el caso de los agujeros negros de masa estelar. ¿Qué crea un agujero negro de masa intermedia? Las mentes inquisitivas quieren saberlo.

En realidad, los agujeros negros supermasivos no son estrellas. Lo más probable es que tampoco lo sean los agujeros negros de masa intermedia. Sin embargo, ¡los tengo que mencionar en algún sitio! No puedes considerarte astrónomo si no conoces los agujeros negros. (Consulta el capítulo 13 para ver más información al respecto.) Si te haces pasar por astrónomo, la gente te hará todo tipo de preguntas sobre los agujeros negros. Pero ¿cuántas preguntas crees que te harán sobre las estrellas de la secuencia principal y los objetos estelares jóvenes?

Color, brillo y masa de las estrellas

La importancia de los distintos tipos de estrellas (consulta el apartado “Ciclo de vida de las estrellas calientes y masivas”) queda mucho más claro cuando ves los datos básicos observacionales expuestos en el gráfico de un astrofísico. Los datos son las magnitudes (o brillos) de las estrellas, y aparecen en el eje vertical, y los colores (o temperatura), en el eje horizontal. Este gráfico recibe el nombre de *diagrama de color-magnitud*, diagrama Hertzsprung-Russell o diagrama H-R, en honor a los dos astrónomos que hicieron esos diagramas por primera vez (consulta la figura 11-4).



Dinah L. Moché/Astronomy: A Self-Teaching Guide, séptima edición

Figura 11-4:

El diagrama Hertzsprung-Russell muestra el brillo y la temperatura de una estrella

Como profesor de Astronomía en una universidad, siempre sabía quién había estudiado y quién no... Cuando preguntaba qué datos señalaba el diagrama H-R, sabía que los estudiantes que respondían “H y R” intentaban adivinarlo.

Tipos espectrales: ¿de qué color es mi estrella?

Hertzsprung y Russell no tenían buena información sobre los colores ni las temperaturas de las estrellas, así que mostraron el tipo espectral en el eje horizontal de sus diagramas originales. El *tipo espectral* es un parámetro asignado a una estrella en función de su espectro. El *espectro* es la forma que adopta la luz de una estrella cuando la dispersa un prisma u otro dispositivo óptico de un instrumento denominado espectrógrafo.



Al principio, los astrónomos no sabían qué significaban los tipos espectrales, así que se limitaban a agrupar las estrellas (las llamaban estrellas de tipo A, de tipo B y así sucesivamente) en función de las similitudes de sus espectros. Más adelante, algunos astrónomos se dieron cuenta de que los tipos espectrales reflejan las temperaturas y otras condiciones físicas de la atmósfera de las estrellas, donde su luz emerge al espacio. Cuando los científicos comprendieron lo que significaban los colores, organizaron los tipos espectrales por orden de temperatura, y Hertzsprung y Russell lo mostraron en sus diagramas. Algunos de los tipos originales se consideraron superfluos, así que fueron retirados.

Los principales tipos espectrales del diagrama H-R son O, B, A, F, G, K y M, que va de las estrellas más calientes a las más frías. Los estudiantes universitarios memorizan esta secuencia con ayudas nemotécnicas como la frase en inglés “*Oh, be a fine girl (guy), kiss me*” (“Oh, pórtate bien chica/o y bésame”). En la tabla 11-1 se describen las propiedades generales de las estrellas de cada tipo espectral.

Tabla 11-1. Tipos espectrales de las estrellas

<i>Tipo</i>	<i>Color</i>	<i>Temperatura de la superficie (en kelvins)</i>	<i>Ejemplo</i>
O	Violeta-blanco	30.000 K	Lambda Orionis
B	Azul-blanco	Entre 12.000 y 30.000 K	Rigel
A	Blanco	Entre 8.000 y 12.000 K	Sirio
F	Amarillo-blanco	Entre 6.000 y 8.000 K	Proción
G	Amarillo-blanco	Entre 5.000 y 6.000 K	Sol
K	Naranja	Entre 3.000 y 5.000 K	Arturo
M	Rojo	Menos de 3.000 K	Antares

Estrella tenue, estrella brillante: clasificación de la luminosidad

Los tipos espectrales O, B, A, F, G, K y M tienen subdivisiones siguiendo números arábigos, lo que permite que los astrónomos clasifiquen las estrellas con más precisión. Cada letra correspondiente a un tipo espectral tiene hasta diez subdivisiones. Por ejemplo, las estrellas G incluyen diez tipos, desde G0 hasta G9. Cuanto más bajo sea el número de la subdivisión, más caliente es la estrella. El

tipo espectral del Sol es G2, mientras que Beta Aquilae (que aparece en la tabla 11-1) tiene un tipo espectral G8. Es decir, el Sol es más caliente que Beta Aquilae y esta última es casi lo suficientemente fría como para pertenecer al tipo espectral K.

Te cuento todo esto para que, cuando busques una estrella como el Sol o Beta Aquilae en un libro de astronomía (o, por ejemplo, internet), sepas qué significa cuando clasifican al Sol como G2 o a Beta Aquilae como G8.

Pero, espera, aún hay más: algunos libros sólo utilizan G2 o G8 para estas dos estrellas, pero otros describen el Sol y otras estrellas con una etiqueta más, normalmente un numeral romano. Por lo tanto, puedes ver que, para referirse al Sol, dicen G2 V y para referirse a Beta Aquilae, escriben G8 IV. Los astrónomos denominan a este numeral romano *clase de luminosidad* de la estrella.

El tipo espectral, como G2, se refiere a la temperatura de una estrella, mientras que la clase de luminosidad, como IV o V, describe su tamaño y su densidad media (porque las estrellas más grandes normalmente tienen una densidad menor que las estrellas pequeñas). Resumo las estrellas según su tamaño y clase de luminosidad en la tabla 11-2.

Tabla 11-2. Clases de luminosidad de las estrellas

<i>Clase</i>	<i>Descripción</i>	<i>Ejemplo</i>
I	Supergigante	Rigel
II	Gigante luminosa	Gamma Aquilae
III	Gigante	Aldebarán
IV	Subgigante	Beta Aquilae
V	Estrellas enanas de la secuencia principal	Rigel Kentaurus
D	Enana blanca	Sirio B

En alguna ocasión, encontrarás una estrella que aparece clasificada en la lista dentro de la clase de luminosidad Ia o Ib. Estas designaciones aportan más información a los astrónomos: *Ia* hace referencia a una supergigante más brillante, mientras que *Ib* indica una supergigante más tenue. Sin embargo, cualquier supergigante es mucho más brillante que las estrellas de las otras clases de luminosidad.



D, la clase de luminosidad para las enanas blancas, podría haber sido definida como el numeral romano *D*, que equivale a 500. Pero es simplemente la letra *D*, del alfabeto, abreviatura de la palabra inglesa *Dwarf*, que

en español significa “enana”. Tras dominar el tema de los tipos espectrales y las clases de luminosidad, puedes cantar victoria, pero, para un astrofísico, la letra V , más que “victoria”, significa “enana de la secuencia principal”.

Cuanto más brillan al quemar, más crecen: la masa determina su clase

Una estrella con una masa mayor concentra un fuego más potente en su núcleo y produce más energía que una estrella de masa inferior. Por lo tanto, una estrella de la secuencia principal más masiva es más brillante y caliente que una estrella menos masiva de la misma secuencia. Las estrellas más masivas también suelen ser las más grandes. Con esta información, puedes seguir el punto fundamental de la astrofísica estelar reflejado en el diagrama H-R: la masa determina la clase.

En el diagrama H-R (consulta la figura 11-4), la parte superior indica una magnitud (o luminosidad) más brillante, mientras que el tipo espectral se indica con las estrellas más calientes a la izquierda y, las más frías, a la derecha. La temperatura va de derecha a izquierda, y la magnitud, de arriba abajo.

En cualquier diagrama H-R, el gráfico de datos observacionales reales, donde cada punto representa a una única estrella, revela mucho al lector atento:

- ✓ La mayoría de las estrellas están en una banda que va diagonalmente desde la parte superior izquierda hasta la parte inferior derecha. La banda diagonal representa la secuencia principal, y todas las estrellas de la banda son como el Sol, que queman hidrógeno en sus núcleos.
- ✓ Algunas estrellas están en una banda más ancha, menos densa y aproximadamente vertical que se extiende hacia arriba y ligeramente hacia la derecha desde la banda diagonal hasta temperaturas más frías y magnitudes más brillantes (luminosidades mayores). Esta banda es la *secuencia de gigantes* y está formada por estrellas gigantes rojas.
- ✓ Un número reducido de estrellas se encuentra por toda la parte superior del diagrama, de izquierda a derecha. Estas estrellas son supergigantes; las supergigantes azules están en el lado izquierdo del diagrama, más o menos, y las supergigantes rojas (que superan en número a las azules) están en el lado derecho.
- ✓ Un número reducido de estrellas están muy por debajo de la línea diagonal, en la parte inferior izquierda y la parte inferior central del diagrama. Estas estrellas son enanas blancas.

Los astrónomos sitúan una estrella de la secuencia principal en el diagrama H-R en función de su brillo y temperatura, pero su brillo y temperatura dependen de su masa. La forma diagonal de la secuencia principal representa una tendencia de las estrellas de masa elevada a las de baja masa. Las estrellas que están en el lado superior izquierdo de la secuencia principal tienen masas más elevadas que el Sol, y las estrellas situadas en el punto más alejado de la derecha tienen masas más bajas.

Los astrónomos no suelen indicar los objetos estelares jóvenes en el mismo diagrama H-R junto a las demás estrellas, pero, si lo hicieran, colocarían los objetos estelares jóvenes en el lado derecho del diagrama, por encima de la secuencia principal (pero no tan alto como las estrellas supergigantes). Las estrellas de neutrones y los agujeros negros son demasiado tenues para aparecer en los mismos diagramas H-R junto a las estrellas normales.

El diagrama H-R

Con alguna explicación más, tú también podrás ser un astrofísico estelar y comprender por qué las estrellas aparecen en distintas partes del diagrama H-R. Los investigadores pasaron décadas averiguándolo, pero a ti, te lo pongo en bandeja. Para simplificar, comento un diagrama H-R calibrado en el que todas las estrellas se indican en función de su brillo.

Considera por qué una estrella es más brillante o más tenue que otra. Existen dos factores que determinan el brillo de una estrella: la temperatura y el área de su superficie. Cuanto mayor sea la estrella, mayor área tendrá su superficie, y cada centímetro cuadrado de la superficie producirá luz. Cuantos más centímetros cuadrados tenga, más luz habrá. Pero ¿qué sucede con la cantidad de luz que produce un centímetro cuadrado? Los objetos calientes queman con más brillo que los fríos, así que, cuanto más caliente sea una estrella, más luz generará por centímetro cuadrado de superficie.

¿Lo has entendido todo? Veamos:

- ✓ Las **enanas blancas** están cerca de la parte inferior del diagrama debido a su pequeño tamaño. Como tienen muy pocos centímetros cuadrados de superficie (en comparación con estrellas como el Sol), las enanas blancas no brillan tanto. Cuando se apagan lentamente como viejos generales, se mueven hacia abajo en el diagrama (porque se vuelven más tenues) y hacia la derecha (porque se enfrían). En el lado derecho del diagrama H-R no se ven muchas enanas blancas porque las enanas blancas frías son tan tenues que

normalmente caen por debajo de la parte inferior del diagrama tal y como se imprime en los libros.

- ✓ Las **supergigantes** están cerca de la parte superior del diagrama H-R porque son supergrandes. Una supergigante roja puede ser más de mil veces más grande que el Sol (si colocaras una supergigante en el lugar del Sol, se extendería más allá de la órbita de Júpiter). Con toda esa superficie, las supergigantes son naturalmente muy brillantes.

El hecho de que las supergigantes estén casi a la misma altura en el diagrama de izquierda a derecha indica que las supergigantes azules (las que están a la izquierda) son más pequeñas que las supergigantes rojas (las que están a la derecha). ¿Cómo lo sabes? Las supergigantes son azules porque son más calientes, por eso producen más luz por centímetro cuadrado. Como sus magnitudes son aproximadamente las mismas (todas las supergigantes están cerca de la parte superior del diagrama), las supergigantes rojas deben tener superficies mayores para producir la misma luz total (porque producen menos luz en cada centímetro cuadrado).

- ✓ Las **estrellas de la secuencia principal** están en la banda diagonal que va desde la parte superior izquierda a la parte inferior derecha del diagrama, porque la secuencia principal incluye todas las estrellas que queman hidrógeno en sus núcleos, independientemente de su tamaño. Pero una diferencia de tamaño afecta al lugar en el que aparecen las estrellas de la secuencia principal en el diagrama H-R. Las estrellas más calientes de la secuencia principal (las que están a la izquierda) son también mayores que las estrellas frías de la secuencia principal; por lo tanto, las estrellas de la secuencia principal tienen dos características: sus superficies son mayores y producen más luz por centímetro cuadrado que las estrellas frías. Las estrellas de la secuencia principal en el extremo derecho son las tenues y frías enanas rojas.

Las enanas marrones no son las primeras de la lista

Las enanas marrones (descubiertas a mediados de la década de los noventa) se han añadido recientemente al inventario celeste. Son más pequeñas y menos masivas que las estrellas y aproximadamente igual de grandes que un planeta gigante de gas como Júpiter, pero son mucho más masivas que éste (la masa de las enanas marrones es de trece a setenta veces la masa de

Júpiter). Brillan con su propia luz, como una estrella, no por luz reflejada, como Júpiter. Sin embargo, las enanas marrones no son en realidad estrellas porque la fusión nuclear funciona brevemente en sus núcleos. Cuando finaliza la fusión, no generan más energía, así que, simplemente, se enfrían y se apagan.

Sus tipos espectrales van desde el extremo frío del tipo M hasta los tipos más fríos siguientes, L y T (los astrónomos sospechan que puede que haya enanas marrones incluso más frías; de ser así, pertenecerían a la clase espectral Y). En el diagrama H-R de la figura 11-4, las enanas marrones se sitúan en el extremo de la parte inferior derecha o incluso justo fuera del gráfico, a la derecha de la esquina inferior derecha.

Compañeras eternas: estrellas binarias y múltiples

Los grupos de dos estrellas y los de tres o más estrellas que orbitan alrededor de un centro común de masa reciben el nombre de *estrellas binarias* o *estrellas múltiples*, respectivamente. El estudio de estos tipos de estrellas permiten que los científicos comprendan cómo evolucionan las estrellas. Estos pequeños sistemas estelares resultan divertidos de observar con telescopios de jardín.

Estrellas binarias y efecto Doppler

Casi la mitad de todas las estrellas vienen de dos en dos. Estas estrellas *binarias* casi siempre son *coetáneas*, una palabra elegante que significa que nacieron juntas. Las estrellas que se forman juntas, unidas por su gravedad mutua a medida que se condensan a partir de sus nubes de nacimiento, suelen quedarse juntas. Lo que la gravedad ha unido, rara vez lo pueden separar otras fuerzas celestes. Una estrella que ha crecido en un sistema binario nunca ha tenido otra compañera (bueno, prácticamente, nunca. Se han dado algunos extraños casos en densos cúmulos de estrellas, en los que las estrellas se aproximan tanto entre sí que, realmente, pueden perder o ganar una compañera).

Un sistema binario está formado por dos estrellas que orbitan alrededor de un *centro común de masas*. El centro de masas de dos estrellas cuyas masas son exactamente iguales se encuentra a medio camino entre las dos. Pero si una estrella tiene el doble de masa que la otra, el centro de masa estará más cerca de la estrella más masiva; de hecho, el centro está dos veces más lejos de la estrella más ligera que de la más masiva. Si una estrella tiene un tercio de la masa de su

compañera de mayor masa, orbita tres veces más lejos del centro de masas y así sucesivamente. Las dos estrellas son como niños jugando en un balancín: el que pesa más tiene que sentarse más cerca del eje central para que los dos mantengan el equilibrio.

Si dos estrellas de un sistema binario tienen la misma masa, ambas seguirán órbitas de igual tamaño. Las estrellas con masas distintas siguen órbitas de tamaños diferentes. La regla general es la siguiente: los elementos grandes siguen órbitas más pequeñas. Quizá pienses que los sistemas binarios son como nuestro Sistema Solar, donde, cuanto más cerca del Sol orbite un planeta, más de prisa va y menos tiempo tarda en hacer una órbita completa. Esa idea puede sonar razonable, pero es un error.

En los sistemas binarios, la estrella grande que sigue la órbita más pequeña viaja más despacio que la estrella pequeña con una órbita grande. De hecho, sus respectivas velocidades dependen de sus masas. La estrella que tiene un tercio de la masa de su compañera se mueve tres veces más de prisa. Al medir la velocidad orbital, los astrónomos pueden determinar las masas relativas de los miembros de un sistema binario.

El hecho de que las velocidades orbitales de las estrellas miembros de un sistema binario dependan de la masa hace que las estrellas binarias despierten un gran interés entre los astrónomos. Si una estrella es tres veces más masiva que la otra, se mueve alrededor de su órbita en el sistema de estrellas binarias a un tercio de la velocidad orbital de su compañera. Para averiguar las masas relativas de las estrellas (es decir, cuánto más masiva es una estrella que la otra), todo lo que deben hacer los astrónomos es medir sus velocidades. Pero sólo en contadas ocasiones los astrónomos pueden hacer un seguimiento de las estrellas mientras se mueven porque la mayoría de las estrellas binarias están tan lejos que no las vemos moverse alrededor de sus órbitas. Por suerte, en lugar de tirar la toalla, los astrónomos han sido capaces de medir las masas de las estrellas estudiando la luz de una estrella binaria y analizando su espectro (un espectro que puede ser la luz combinada de ambas estrellas del sistema binario).

El fenómeno llamado *efecto Doppler* ayuda a los astrónomos a averiguar las masas de estrellas binarias estudiando sus espectros estelares.

Aquí tienes todo lo que debes saber acerca del efecto Doppler, llamado así en honor a Christian Doppler, un físico austriaco del siglo XIX:

La frecuencia o la longitud de onda del sonido o la luz, tal y como la detecta el observador, cambia en función de la velocidad de la fuente emisora respecto al observador. En el caso del sonido, la fuente emisora puede ser el silbido de un tren. Respecto a la luz, la fuente puede ser una estrella (los sonidos de frecuencias superiores tienen un tono más alto; una soprano tiene un tono más alto que un tenor). Las ondas de luz de frecuencia elevada tienen longitudes de onda más cortas, y las ondas de luz de frecuencia más baja tienen longitudes de onda más

largas. En el sencillo caso de la luz visible, las longitudes de onda más cortas son azules y las más largas, rojas.

Según el efecto Doppler:

- ✓ Si la fuente se acerca a ti, aumenta la frecuencia que detectas o mides, por tanto:
 - El tono del silbido del tren parece más alto.
 - La luz de la estrella parece más azul.
- ✓ Si la fuente se aleja de ti, disminuye la frecuencia, por tanto:
 - El silbido que oyes tiene un tono más bajo.
 - La estrella parece más roja.

El silbido del tren es el ejemplo oficial del efecto Doppler que los profesores utilizan desde hace generaciones para dar explicaciones a estudiantes universitarios y de instituto que son, a veces, poco entusiastas. Pero ¿queda alguien que todavía oiga el silbido del tren? Una analogía que resulta más familiar es la forma de notar las olas en el agua cuando uno va en una lancha motora. Cuando conduces en dirección contraria a las olas, sientes que la lancha se mueve de prisa en el mar picado. En cambio, cuando vuelves hacia la playa, en el sentido de las olas, el balanceo de la lancha es mucho más suave y las olas se vuelven más suaves. En el primer caso, te diriges hacia las olas, y te las encuentras antes de lo que hubiera correspondido en el caso de que hubieras flotado o te hubieras quedado quieto. Por lo tanto, la frecuencia a la que las olas chocan con tu barco es mayor que si el barco se hubiera quedado quieto. La frecuencia de las olas en sí no cambia, pero se modifica la frecuencia de las olas que notas tú.

El espectro de una estrella contiene algunas líneas oscuras, es decir, lugares (longitudes de onda o colores) en los que la estrella no emite tanta luz como en las longitudes de onda adyacentes. La reducción de la emisión en esas longitudes de onda está causada por la absorción de luz por tipos concretos de átomos de la atmósfera de la estrella. Las líneas oscuras forman patrones reconocibles, y, cuando la estrella se mueve adelante y atrás en su órbita, el efecto Doppler provoca que los patrones de líneas se muevan adelante y atrás en el espectro detectado en la Tierra. Cuando las líneas espectrales cambian hacia longitudes de onda más largas, el fenómeno se denomina *desplazamiento al rojo*. Cuando cambian hacia longitudes de onda más cortas, se trata de un *desplazamiento al*

azul. Existen otras formas de producir un desplazamiento al rojo y al azul, pero la causa más corriente es el efecto Doppler.

Por lo tanto, observando los espectros de las estrellas binarias y viendo cómo se desplazan sus líneas espectrales de rojo a azul y a rojo de nuevo mientras las estrellas orbitan, los astrónomos pueden determinar sus velocidades y, en consecuencia, sus masas relativas. Y viendo cuánto tarda una línea espectral en ir hasta el extremo más rojo y, después, ir al extremo azul para volver al extremo más rojo de nuevo, los astrónomos pueden determinar la duración o período de la órbita de la estrella binaria.

Si sabes que el período de una órbita completa es de 60 días, por ejemplo, y sabes lo rápido que se mueve la estrella, puedes averiguar la circunferencia de la órbita y, por tanto, también el radio de su órbita. Al fin y al cabo, si conduces sin parar desde la ciudad de Nueva York a una ciudad que esté al norte del estado durante 3 horas a 100 kilómetros por hora (¡buena suerte con el tráfico!), sabes que la distancia que has recorrido es de 3×100 , es decir, 300 kilómetros.

Dos estrellas son binarias, pero tres son multitud: estrellas múltiples

Las *estrellas dobles* son dos estrellas que parecen estar cerca tal y como se ven desde la Tierra. Algunas estrellas dobles son realmente binarias, orbitan alrededor de centros comunes de masa. En cambio, otras sólo son *dobles ópticas*, o dos estrellas que resultan estar casi en la misma dirección vistas desde la Tierra, pero a distancias muy distintas. No tienen relación entre sí; ni siquiera han sido presentadas.

Las *estrellas triples* son tres estrellas que parecen estar cerca pero que, como los miembros de una estrella doble, puede que lo estén o no. Un *sistema de estrellas triple*, igual que un sistema binario, está formado por tres estrellas unidas por su gravitación mutua que orbitan alrededor de un centro común de gravedad.



Espectroscopia estelar en pocas palabras

La *espectroscopia estelar* es el análisis de las líneas de los espectros de las estrellas y, con diferencia, es la herramienta más importante de la que dispone un astrónomo para investigar la naturaleza física de las estrellas. La espectroscopia revela:

- ✓ Velocidades radiales de las estrellas (movimientos de aproximación o

alejamiento de la Tierra).

- ✓ Masas relativas, períodos orbitales y tamaños de las órbitas de las estrellas en sistemas binarios.
- ✓ Temperaturas, densidades atmosféricas y gravedad en la superficie de las estrellas.
- ✓ Campos magnéticos y su intensidad en las estrellas.
- ✓ Composición química de las estrellas (átomos que están presentes y en qué estados existen).
- ✓ Ciclos de manchas solares de las estrellas (bueno, ciclos de manchas estelares).

Toda esta información procede de la medición de las posiciones, anchos e intensidades (lo oscuras o brillantes que sean) de las pequeñas líneas oscuras (a veces, brillantes) de los espectros de las estrellas. Los científicos las analizan con ayuda del efecto Doppler para averiguar lo rápido que se mueven las estrellas, el tamaño de sus órbitas y sus masas relativas. Otros fenómenos, como el *efecto Zeeman* y el *efecto Stark*, afectan al aspecto de las líneas espectrales. Aplicando su conocimiento de estos efectos, los astrónomos pueden averiguar la intensidad del campo magnético de la estrella a partir del efecto Zeeman y determinar la densidad y la gravedad en la superficie de la atmósfera de la estrella a partir del efecto Stark. La presencia de líneas espectrales concretas, cada una procedente de un tipo específico de átomo que absorbe (líneas oscuras) o emite (líneas brillantes) luz en la atmósfera de una estrella, muestra a los astrónomos algunos de los elementos químicos presentes en la atmósfera de la estrella y la temperatura de la estrella a la que estos átomos emiten o absorben la luz.

Las líneas espectrales incluso indican a los astrónomos en qué condición o *estado de ionización* se encuentran los átomos. Las estrellas están tan calientes que el calor puede quitar átomos de hierro, por ejemplo, de uno o más de sus electrones, convirtiéndolos en iones de hierro. En función de cuántos electrones haya perdido, cada tipo de ión de hierro produce líneas espectrales con distintos patrones característicos y posiciones en el espectro. Si se comparan los espectros de las estrellas registrados mediante telescopios con los espectros de los iones y elementos químicos medidos en experimentos de laboratorio o los calculados por ordenador, los astrónomos pueden analizar una estrella sin llegar a acercarse nunca a años luz de ella.

En los gases estelares fríos, gran parte del hierro pierde un electrón por átomo; así, produce los espectros de hierro de un único ión. Sin embargo, en las partes muy calientes de las estrellas (como la corona a un millón de

grados del Sol), el hierro puede perder diez electrones; el elemento está en un estado de ionización elevado y produce el patrón correspondiente de líneas espectrales. Este patrón apunta a la existencia de una región a muy alta temperatura en la estrella.

Algunas partes del espectro del Sol cambian con el ir y venir de las regiones perturbadas del Sol, que alcanza su punto máximo aproximadamente cada once años (tal y como explico en el capítulo 10). En los espectros de otras estrellas similares al Sol se producen cambios parecidos. De esta forma, los astrónomos pueden averiguar la longitud del ciclo de actividad de una estrella distante utilizando la espectroscopia, aunque la estrella esté demasiado lejos para poder ver sus manchas solares.

Quizá nos sirva compararla con la felicidad conyugal (o de la soltería). “Tres son multitud” es una expresión de la inestabilidad en la mayoría de los acuerdos románticos cuando entra en escena una tercera persona. Lo mismo ocurre con los sistemas de estrellas triples. Estos sistemas constan de una pareja o sistema binario y de una tercera estrella en una órbita mucho mayor. Si estas tres estrellas se movieran en órbitas próximas, interactuarían gravitatoriamente de forma caótica, y el grupo se rompería, y, como mínimo, una estrella se iría volando para no volver jamás. Por lo tanto, un sistema triple es, en efecto, una “estrella binaria” en la que un miembro es, de hecho, una pareja de estrellas.

Las *estrellas cuádruples* suelen ser “dobles dobles”, y están formadas por dos sistemas de estrellas binarias próximas que giran alrededor del centro común de masas de las cuatro estrellas.

Estrellas múltiples es el término colectivo para referirse a sistemas estelares más grandes que los binarios: triples, cuádruples, etc. En algún momento, la distinción entre un sistema de estrellas grande y múltiple y un cúmulo pequeño de estrellas se difumina. Uno es, esencialmente, igual que el otro. (Describo los cúmulos de estrellas en el capítulo 12.)

El cambio es bueno: estrellas variables

No todas las estrellas son, como escribió Shakespeare, “tan constantes como la Estrella Polar”. De hecho, la Estrella Polar tampoco es constante. La famosa estrella, también llamada Polaris, es una *estrella variable*, es decir, su brillo cambia con el tiempo. Durante muchos años, los astrónomos pensaban que tenían totalmente dominados los cambios de brillo de la Estrella Polar. Parecía brillar y apagarse un poco una y otra vez, de forma reproducible. Sin embargo, de

repente, sus cambios se modificaron. Con el tiempo, esta diferencia de patrón puede significar un cambio físico y los científicos están estudiando su significado. Recientemente, los astrónomos de la Universidad de Villanova (Pensilvania) han llegado a la conclusión de que la Estrella Polar ha aumentado su brillo aproximadamente una magnitud (unas dos veces y media) desde la Antigüedad.

Las estrellas variables son de dos tipos básicos:

- ✓ **Estrellas variables intrínsecas:** Estas estrellas experimentan cambios en su brillo debido a cambios físicos en las propias estrellas. Estas estrellas se dividen en tres categorías principales:
 - Estrellas pulsantes.
 - Estrellas fulgurantes.
 - Estrellas explosivas.
- ✓ **Estrellas variables extrínsecas:** Estas estrellas parecen cambiar de brillo porque algo externo altera su luz, tal y como se ve desde la Tierra. Las dos clases principales de estrellas variables extrínsecas son:
 - Binarias eclipsantes.
 - Microlentes.

Describo cada clase de estrellas variables en el siguiente apartado.

Recorrer la distancia: estrellas pulsantes

Las estrellas pulsantes se hinchan y deshinchán, aumentan y se reducen, se enfrían y calientan, se hacen más brillantes y más tenues. Estas estrellas oscilan como corazones que palpitan en el cielo.

Estrellas variables Cefeidas

Las estrellas pulsantes más importantes desde el punto de vista científico son las estrellas variables Cefeidas, llamadas así en honor a la primera estrella estudiada de este tipo, Delta, en la constelación Cefeo (Delta Cephei).

La astrónoma estadounidense Henrietta Leavitt descubrió que las Cefeidas tienen una *relación período-luminosidad*. Esto significa que, cuanto mayor sea el período de variación (el intervalo entre sucesivos picos del brillo), mayor será el brillo verdadero medio de la estrella. Así pues, un astrónomo que mide la

magnitud aparente de una estrella variable Cefeida a medida que cambia con los días y las semanas y que, de esta forma, calcula el período de variabilidad, puede deducir fácilmente el verdadero brillo de la estrella.

¿Qué importancia tiene para los astrónomos? Conocer el brillo verdadero nos permite determinar la distancia de la estrella. Al fin y al cabo, cuanto más lejos esté la estrella, más tenue parece, pero mantiene el mismo brillo verdadero.



La distancia atenúa las estrellas según la *ley de la inversa del cuadrado*: cuando una estrella está el doble de lejos, parece cuatro veces más tenue; cuando se triplica la distancia, la estrella parece nueve veces más tenue; y cuando una estrella está diez veces más lejos, parece que sea cien veces más tenue.

Los titulares del telescopio espacial *Hubble* en los que se determinaban la edad y la escala de distancia del universo procedieron de un estudio del *Hubble* sobre las estrellas variables Cefeidas. Dichas Cefeidas se encuentran en galaxias lejanas. Al hacer un seguimiento de sus cambios de brillo, y utilizando la relación período-luminosidad, los observadores del *Hubble* averiguaron a qué distancia están las galaxias.

Estrellas RR Lyrae

Las estrellas RR Lyrae se parecen a las Cefeidas, pero no son tan grandes ni tan brillantes. Algunas estrellas RR Lyrae están situadas en cúmulos globulares de estrellas en nuestra Vía Láctea, y también tienen una relación período-luminosidad.

Los *cúmulos globulares* son enormes bolas de estrellas viejas que nacieron mientras la Vía Láctea aún se estaba formando. Entre cientos de miles y un millón de estrellas abarrotan una región del espacio que solamente mide entre 60 y 100 años luz. Mediante la observación de los cambios en el brillo de las estrellas RR Lyrae, los astrónomos pueden estimar sus distancias, y cuando las estrellas están en cúmulos globulares, nos indican a qué distancia se encuentran dichos cúmulos. (Si quieres obtener más información sobre los cúmulos globulares y de otro tipo, consulta el capítulo 12.)

¿Por qué es tan importante conocer la distancia de un cúmulo estelar? Por la siguiente razón: todas las estrellas de un determinado cúmulo nacieron a partir de una nube común al mismo tiempo y todas están prácticamente a la misma distancia de la Tierra porque se encuentran en el mismo cúmulo. Por eso, cuando los científicos dibujan el diagrama H-R de estrellas de un cúmulo, el diagrama no tiene los errores que podrían haber causado las diferencias en las distancias de las

estrellas. Y si los científicos conocen la distancia del cúmulo, pueden convertir todas las magnitudes trazadas en luminosidades reales, o las tasas a las que las estrellas producen energía por segundo. Estas cantidades se pueden comparar directamente con teorías astrofísicas de las estrellas y cómo generan su energía. Este tema mantiene ocupados a los astrofísicos.

Estrellas variables de largo período

Los astrofísicos celebran la información que averiguan gracias a las estrellas variables Cefeidas y RR Lyrae. Por otra parte, los aficionados a la astronomía se deleitan observando las variables de largo período, también llamadas estrellas Mira (o variables Mira). Mira es otra forma de designar a la estrella Ómicron Ceti, en la constelación Cetus (la Ballena), la primera estrella variable de largo período conocida.

Las variables Mira son enormes estrellas rojas que palpan como las Cefeidas, pero tienen períodos mucho más largos, de una media de diez meses o más, y el cambio en su luz visible es aún mayor. En su punto más luminoso, Mira es visible a simple vista, y en su punto más tenue, necesitarás un telescopio para verla. Los cambios de una estrella variable de largo período también son mucho más variables que los cambios de una Cefeida. La magnitud más brillante que alcanza una estrella variable de largo período en particular puede diferir bastante de un período al siguiente. Estos cambios se pueden observar fácilmente y constituyen información científica básica. Tú puedes ayudar en este y otros estudios de estrellas variables, tal y como describo en el último apartado de este capítulo.

Vecinos explosivos: estrellas fulgurantes

Las estrellas fulgurantes son pequeñas enanas rojas que sufren grandes explosiones, como fulguraciones solares ultrapotentes. No puedes ver la mayoría de las fulguraciones solares sin ayuda de filtros especiales de colores porque la luz de las fulguraciones es sólo una diminuta fracción de la luz total del Sol. Solamente las raras fulguraciones muy grandes de “luz blanca” son visibles en el Sol sin filtros especiales. (Ten en cuenta que es necesario utilizar una de las técnicas de observación solar segura que describo en el capítulo 10.) Sin embargo, las explosiones de las estrellas fulgurantes son tan brillantes que la magnitud de la estrella cambia notablemente. Estás mirando la estrella a través de un telescopio, y, de repente, tiene más brillo. No todas las enanas rojas experimentan estas explosiones frecuentes. Próxima Centauri, la estrella más cercana más allá de nuestro Sol, es una estrella fulgurante.

Novas: estrellas en explosión

Las explosiones de novas y supernovas son tan grandes que no las puedo agrupar con las estrellas fulgurantes; son enormemente más poderosas y tienen efectos mucho mayores.

Novas

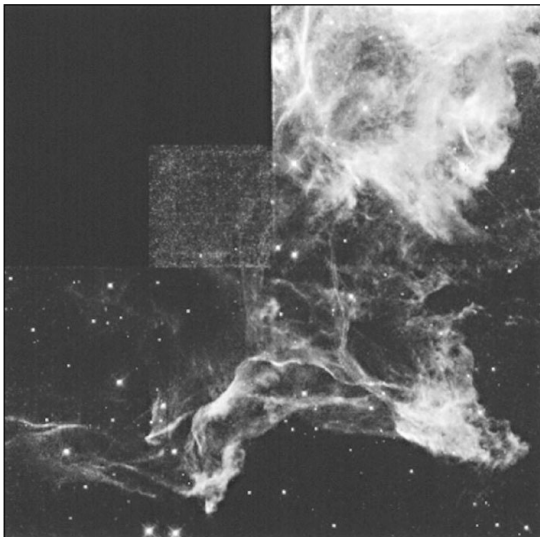
Una nova explota a través de un proceso de acumulación sobre una enana blanca en un sistema binario, de forma similar a las explosiones de las supernovas de tipo Ia que ya he descrito en este capítulo. En el caso de una supernova, la enana blanca se destroza; en una nova, la enana blanca no se destruye. Sólo estalla la parte superior de la estrella, y entonces se estabiliza, atrapando más gas de su compañera en su capa superficial. La potente gravedad de la enana blanca comprime y calienta esta capa y, tras siglos o milenios, vuelve a activarse. Como mínimo, ésta es la teoría. Ningún científico ha vivido tiempo suficiente para ver una *nova clásica* o normal explotar dos veces. Existen sistemas binarios similares en los que las explosiones no son tan poderosas como en una nova clásica, pero se dan con la suficiente frecuencia para que los aficionados a la astronomía siempre las estén controlando, listos para anunciar el descubrimiento de una nueva explosión y avisar a los profesionales para que la estudien. Estos objetos reciben varios nombres, como *novas enana* y *sistemas AM Herculis*.

Las novas clásicas, las novas enanas y otros objetos similares se conocen con el nombre colectivo de *variables cataclísmicas*.

Una nova tan brillante como para ser observada a simple vista se da aproximadamente una vez cada década. Estudié una en Hércules para mi tesis doctoral, en 1963. Si no hubiera explotado justo en el momento adecuado, habría tenido que esperar diez años para encontrar un tema para la tesis. Recientemente, una nova brillante en Escorpio deslumbró a los astrónomos en 2007.

Supernovas

Las supernovas expulsan nebulosas, denominadas *remanentes de supernovas*, a grandes velocidades (consulta la figura 11-5). Al principio, la nebulosa está formada por el material que componía la estrella que ha quedado destrozada, excepto los restos de cualquier objeto central que haya podido quedar, y a fuera estrella de neutrones o agujero negro (consulta el apartado “Hora de cerrar: la última parte de la evolución estelar”, que aparece en este capítulo). Sin embargo, a medida que se expande en el espacio, la nebulosa barre gas interestelar igual que un quitanieves que acumula nieve. Al cabo de miles de años, el remanente de la supernova es, principalmente, gas barrido y no basura de supernova.



Cortesía de la NASA

Figura 11-5:

Parte del Bucle de Cygnus, un remanente de supernova

Las supernovas son increíblemente brillantes y bastante raras. Los astrónomos estiman que en una galaxia como la Vía Láctea se da una supernova cada veinticinco o cien años, pero no hemos presenciado ninguna supernova en nuestra galaxia desde la Estrella de Kepler en 1604, antes de la invención del telescopio. Puede que hayan aparecido otras, que hayan estado ocultas debido a las nubes de polvo de la Galaxia. Una enorme estrella del sur conocida como Eta Carinae parece que esté a punto de transformarse en supernova en la Vía Láctea, pero eso, en la jerga de los astrónomos, significa que podría explotar en cualquier momento dentro del próximo millón de años.

Solamente se ha visto una supernova a simple vista desde 1604. Fue la

Supernova 1987A, situada en nuestra galaxia vecina, la Gran Nube de Magallanes, o GNM (que describo en el capítulo 12). La supernova estaba demasiado al sur para que pudiera verse desde Estados Unidos continentales, pero no iba a perderme un fenómeno celeste tan poco frecuente, así que viajé hasta Chile para verlo. Los astrónomos chilenos me dieron una cálida acogida.

Hipernovas

Las hipernovas son supernovas especialmente brillantes que, como mínimo, parecen producir algunos de los estallidos de rayos gamma que de vez en cuando emiten destellos en el cielo. Los estallidos son explosiones muy potentes de radiación de alta energía emitida en haces como los rayos de los focos reflectores. La NASA lanzó el satélite *Swift* en noviembre de 2004 para descubrir más cosas sobre estos fenómenos. Cuando este satélite detecta un estallido procedente de cierta dirección, rápidamente lo notifica a los observatorios de la Tierra para que apunten hacia esa parte del cielo. Las hipernovas son mucho más raras que otras supernovas, y nunca se ha visto una hipernova en nuestra galaxia.



Si quieres conocer mejor el satélite *Swift* y sus descubrimientos, visita el sitio web de *Swift* de la NASA en www.nasa.gov/mission_pages/swift/main/index.html y *Swift* Education and Public Outreach en <http://swift.sonoma.edu>. Si tienes un iPad o iPhone, abre iTunes y descarga la aplicación gratuita *Swift Explorer* de la Pennsylvania State University. Tiene algunas funciones geniales. Incluso puedes programarla para que te envíe un mensaje al teléfono cada vez que *Swift* detecte un estallido de rayos gamma.

El juego del escondite estelar: estrellas binarias eclipsantes

Las estrellas binarias eclipsantes son sistemas binarios cuyo brillo verdadero no cambia (a menos que una de las dos estrellas resulte ser una estrella pulsante, fulgurante u otra variable intrínseca), aunque parezcan estrellas variables. El plano orbital del sistema (el plano que contiene las órbitas de las dos estrellas) está orientado de forma que incluye nuestra línea de visión hacia el sistema binario. Así, en cada órbita, una estrella eclipsa a la otra, como se ve desde la Tierra, y el brillo de la estrella se reduce durante el eclipse (evidentemente, la situación se revierte medio período orbital después, cuando la estrella eclipsada se convierte en la que provoca el eclipse).

Si las dos estrellas de un sistema binario tienen períodos orbitales de cuatro días, cada cuatro días la estrella más masiva del sistema, por lo general denominada *A*, pasa exactamente por delante de la otra estrella según la visión que se tiene desde la Tierra. Este paso bloquea toda o la mayoría de la luz que proviene de la estrella *B*, y así, no llega a la Tierra (a veces, en función de su tamaño comparado con *A*, la estrella menos masiva es más grande que su pesada compañera), por lo tanto, la estrella binaria parece más tenue. Los astrónomos llaman a este fenómeno *eclipse estelar*. Dos días después del eclipse, la estrella *B* pasa por delante de la estrella *A*, con lo que crea otro eclipse.

En el apartado “Estrellas binarias y efecto Doppler” he mencionado cómo utilizan los astrónomos las velocidades orbitales para averiguar las masas relativas de las estrellas. También pueden utilizar estas velocidades para calcular el diámetro de las estrellas. Los científicos cogen los espectros y averiguan la velocidad a la que orbitan las estrellas utilizando el efecto Doppler, y miden la duración de los eclipses en las binarias eclipsantes. Un eclipse estelar de la estrella *B* comienza cuando el borde de entrada de la estrella *A* empieza a pasar por delante de ella. El eclipse acaba cuando el borde trasero de *A* acaba de pasar por delante de *B*. Así, la velocidad orbital multiplicada por la duración del eclipse informa a los científicos de lo grande que es la estrella *A*.

En todos estos métodos, los detalles son un poco más complicados, pero te lo he explicado de manera que entiendas los principios de la investigación estelar.



La binaria eclipsante más famosa es Beta Persei, conocida también por el nombre de Algol (que significa ‘estrella endemoniada’). Pero, pese a su nombre, no las pasarás canutas observando los eclipses de Algol en el hemisferio norte, ya que es una estrella brillante bien situada para su observación en el cielo del norte en otoño. Puedes ver sus eclipses sin telescopio e incluso sin prismáticos. Cada dos días y veintiuna horas, el brillo de Algol se atenúa un poco más que una magnitud (más de un factor de 2,5) durante unas dos horas. Pero debes saber *cuándo* buscar un eclipse. No es aconsejable que te quedes en el jardín durante casi tres días. Los vecinos hablarán. Consulta las páginas de *Sky & Telescope* que ofrecen información para los observadores. Normalmente, hay un párrafo titulado “Mínimo de Algol” en el que se indican las fechas y horas de los eclipses que se producirán durante un mes o dos (si no encuentras la lista en el ejemplar actual, Algol debe de estar demasiado cerca del Sol para que se pueda observar ese mes).

Mínimo hace referencia a los instantes en los que las estrellas variables, extrínsecas o intrínsecas, alcanzan los niveles más bajos de brillo. *Máximo* son los

instantes en los que las estrellas brillan más.

Cómo retener la luz de las estrellas: fenómenos de Microlente

A veces, una estrella lejana pasa delante de una estrella que está aún más lejos. Las dos estrellas no están relacionadas entre sí y puede que estén a miles de años luz, pero la gravedad de la estrella más cercana desvía las trayectorias de los rayos de luz de la estrella más lejana de forma que, durante días o semanas, la estrella distante parece mucho más brillante desde la Tierra. Este efecto está predicho por la teoría de la relatividad general de Einstein y los astrónomos lo detectan con regularidad. Cuando la gravedad de un objeto enorme como una galaxia desvía luz, los astrónomos denominan a este proceso *lente gravitacional* o *gravitatoria*. Cuando la gravedad de un cuerpo tan pequeño como una estrella desvía la luz, recibe el nombre de *microlente*.

Quizá pienses que es poco probable que dos estrellas sin relación se alineen perfectamente con la Tierra, ¡y tendrías razón! Felicidades por pensarlo. Para detectar ese fenómeno tan raro de forma regular, los astrónomos utilizan telescopios con cámaras electrónicas que pueden grabar cientos de miles a millones de estrellas al mismo tiempo. Con todas esas estrellas bajo observación, una estrella en primer plano pasa delante de una estrella distante cada cierto tiempo, aunque los astrónomos no sepan con antelación qué dos estrellas son.

El truco consiste en apuntar la cámara electrónica a una región en la que puedas ver un gran número de estrellas simultáneamente en el campo de visión. Estas regiones incluyen la Gran Nube de Magallanes, una galaxia satélite cercana de la Vía Láctea (consulta el capítulo 12), y el bulbo central de la propia Vía Láctea, donde hay un enorme conjunto de estrellas.

Tus vecinos estelares

Cuando miras Alfa Centauri a simple vista, ves una estrella brillante. Cuando la observas con un telescopio, ves dos estrellas brillantes juntas en el mismo campo de visión. Las dos estrellas forman un sistema binario. Pero hay una tercera estrella, Próxima Centauri, que lo convierte en un sistema triple. No ves Próxima Centauri en el campo de visión con las dos estrellas brillantes porque está en una órbita enorme alrededor de ellas, y, tal y como se ve desde la Tierra, está a más de 2° de distancia, o más de cuatro veces el diámetro aparente de la luna llena (y Próxima, una estrella enana roja tenue, no se ve a simple vista. Ya te la he presentado en el apartado “Estrellas de la secuencia principal: cómo disfrutar de una longeva edad adulta” anteriormente en este capítulo).

Si quieres conocer todo el sistema triple, consulta la siguiente lista:

- ✓ **Alfa Centauri A (también llamada Rigil Kentaurus):** Estrella de tipo G, brillante, en la constelación del sur Centaurus (consulta la figura 11-6). Es una enana de la secuencia principal con casi el mismo color que el Sol pero ligeramente más brillante.
- ✓ **Alfa Centauri B:** Compañera naranja de Alfa Centauri; es una enana de la secuencia principal ligeramente más pequeña y más fría.
- ✓ **Alfa Centauri C:** Nuestro vecino estelar más cercano más allá del Sol, la pequeña enana roja y estrella fulgurante, también recibe el nombre de Próxima Centauri.

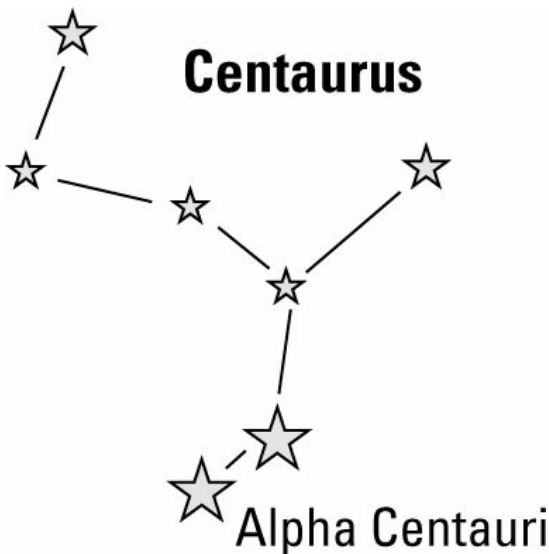
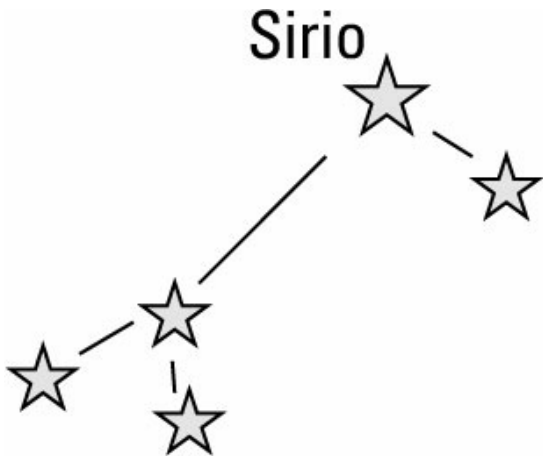


Figura 11-6:

Alfa Centauri es un sistema de estrellas triple situado muy al sur en el cielo

El sistema Alfa Centauri está a unos 4,4 años luz de la Tierra, con Próxima Centauri en la parte más cercana, a 4,2 años luz. El sistema se encuentra muy al sur en el cielo, por lo tanto, debes estar en el hemisferio sur, o, como mínimo, en la parte más meridional del hemisferio norte para verla.

Sirio, a una distancia de 8,5 años luz, es la estrella más brillante del cielo nocturno. Su nombre oficial es Alfa Canis Majoris, en Canis Major (el Can Mayor; consulta la figura 11-7). Sirio se encuentra ligeramente al sur del Ecuador celeste y se puede ver desde la mayor parte de los lugares habitados de la Tierra. Se trata de una estrella blanca de tipo A de la secuencia principal que brilla lo suficiente como para que la gente diga: “¿Cuál es esa estrella tan grande?”.



Canis Major

Figura 11-7:

Sirio es el jefe de la manada en Canis Major

Como la mayoría de las estrellas, Sirio tiene una estrella compañera: Sirio B, una enana blanca. Sirio se conoce como la “estrella perro”, así que cuando en 1862 el fabricante de telescopios estadounidense Alvan Clark descubrió a su diminuta compañera, Sirio B, fue natural que alguien la apodara “cachorro”.



Una leyenda y algunos registros escritos abiertos a distintas interpretaciones sugieren que hace miles de años Sirio era una estrella roja. A

pesar de muchos esfuerzos, los astrofísicos no han sido capaces de explicar este color según procesos físicos conocidos, por lo tanto, como es natural afirman que esta historia no es cierta.

Vega es Alfa Lyrae, la estrella más brillante de la constelación de la Lyra (Lira). Aparece alta en el cielo en latitudes templadas del norte (por ejemplo, Estados Unidos continental o España), en las noches de verano, y es un objeto que la mayoría de los aficionados a la astronomía conocen como la palma de su mano. Vega está a unos 26 años luz de la Tierra, y es una estrella de tipo A de la secuencia principal, como Sirio. Vega es una bengala blanca y brillante y una de las estrellas más visibles del cielo.

Betelgeuse no está en el vecindario solar; es una estrella supergigante roja de tipo espectral M, a unos 640 años luz de la Tierra. Pero a todo el mundo le gusta su nombre, que muchos pronuncian “Beetle Juice” (jugo de escarabajo, en inglés), que es una manera tan buena de pronunciarlo como cualquier otra, y los observadores disfrutaban de su profundo color rojo. Al fin y al cabo, es una supergigante roja, más de veinte mil veces más brillante que el Sol. A pesar de que Betelgeuse sea Alfa Orionis, la estrella más brillante de Orión es en realidad Rigel (Beta Orionis).

Cómo ayudar a los científicos mediante la observación de las estrellas

Miles de estrellas están bajo vigilancia porque su brillo varía o porque muestran alguna otra característica especial. Los astrónomos profesionales no pueden controlarlas todas, y ahí es donde tú entras en escena. Tú puedes controlar algunas estrellas con tus propios ojos, con prismáticos o con un telescopio.

Debes ser capaz de reconocer las estrellas y juzgar sus magnitudes. El brillo de muchas estrellas cambia de forma tan significativa (por un factor de dos, diez o incluso cientos) que las estimaciones visuales son lo suficientemente precisas como para hacer un seguimiento de ellas. El truco es utilizar un *gráfico de comparación*, es decir, un mapa estelar que muestra la posición de la estrella variable y las posiciones y magnitudes de las *estrellas de comparación*. Una estrella de comparación tiene un brillo conocido que no varía (o eso esperamos).



La AAVSO (Asociación Norteamericana de Observadores de Estrellas Variables) ofrece abundante información sobre cómo observar estrellas variables. Su sitio web es www.aavso.org.



La AAVSO anima a los aficionados a la observación, tanto si son principiantes como expertos. Puedes descargar su *Manual para la observación visual de estrellas variables*, que está en inglés y en otros idiomas, incluido el español (los aficionados a la astronomía del mundo aportan sus observaciones de estrellas variables a la investigación de la AAVSO).

Consulta el Variable Star Plotter (VSP) en la web de la AAVSO. Puedes introducir el nombre o el número de una estrella variable, y el VSP creará una carta celeste para la estrella que puedes descargar para utilizarla con tu telescopio. Tras haber leído el manual y aprendido cómo estimar las magnitudes de las estrellas, estarás listo para observar estrellas variables y enviar tus descubrimientos a la AAVSO.

Ofrece tu mente y tu ordenador para mejorar los estudios estelares

Aunque vivas en un lugar en el que las condiciones climáticas y/o la iluminación urbana no permiten hacer observaciones astronómicas con frecuencia, puedes ayudar a los astrónomos practicando la *ciencia ciudadana*: examina datos de telescopios obtenidos desde el espacio o desde observatorios profesionales con base en tierra, según las instrucciones que se facilitan por internet. Lo único que debes hacer es inscribirte en una web de proyectos, estudiarte el manual del proyecto y empezar a examinar los datos.

Miles de personas se apuntan a estos proyectos, de forma que, a pesar de que quizá alguien no tenga el mejor criterio científico, se establece una media de la información proporcionada por muchos participantes. En general, los descubrimientos de los *científicos ciudadanos* alertan a los astrónomos profesionales de objetos o fenómenos interesantes y posiblemente importantes desde el punto de vista científico en las bases de datos (literalmente) astronómicas que ningún experto puede examinar por su cuenta.

Éstos son dos buenos proyectos de ciencia ciudadana que vale la pena considerar:

- ✓ **Proyecto de la Vía Láctea** (MWP, Milky Way Project, www.milkywayproject.org/tutorial): Este proyecto de investigación busca información nueva sobre cómo se forman las estrellas. Está patrocinado por el Adler Planetarium de Chicago (Illinois) y el programa de ciencia ciudadana Zooniverse, y utiliza

imágenes del telescopio *Spitzer Space* de la NASA. Cuando participas en este proyecto, utilizas las herramientas informáticas que facilitan en la web del MWP para dibujar círculos alrededor de los denominados *nudos verdes* (*green knots*) de la Vía Láctea (se ponen ejemplos para que sepas qué buscar). Dichos nudos pueden ser lugares en los que la formación de estrellas está en proceso. También puedes ir a la caza de pequeños cúmulos de estrellas, previamente desconocidos, y rodearlos con un círculo. Los astrónomos profesionales utilizan la información que tú envías para las investigaciones en curso sobre las estrellas. (Describo la Vía Láctea y sus cúmulos de estrellas en el capítulo 12.)

- ✓ **Proyecto de búsqueda de estrellas explosivas (supernovas)** (<http://supernova.galaxyzoo.org>): Puedes cazar supernovas desde la comodidad de tu hogar uniéndote al proyecto cuyo nombre oficial es The Search for Exploding Stars (Supernovae). Cuando este programa funcione con regularidad, recibirás imágenes telescópicas de una cámara automática del Observatorio del Monte Palomar de California y buscarás supernovas nuevas en ellas. (Digo “cuando” porque, a principios de mayo de 2012, los voluntarios ya habían agotado los datos disponibles del Observatorio del Monte Palomar y los recién llegados a la web son temporalmente redirigidos a otros proyectos de ciencia ciudadana que también valen la pena.)

Si te unes a Exploding Stars, descubrirás cómo identificar una supernova y avisar de su existencia. A partir de los avisos que dais tanto tú como otros voluntarios, los astrónomos profesionales apuntan sus poderosos telescopios a las estrellas en explosión y reúnen información astrofísica fresca.

Creo que Exploding Stars supera a Angry Birds cualquier día de la semana. Además, es gratuito, y no se hace daño a ningún animal (a menos que estén en un planeta cercano a una supernova).

Capítulo 12

Galaxias: la Vía Láctea y más allá

En este capítulo

- ▶ Te aproximarás a la Vía Láctea
 - ▶ Examinarás cúmulos de estrellas y nebulosas
 - ▶ Clasificarás las galaxias según su forma y tamaño
 - ▶ Observarás galaxias cercanas y lejanas
 - ▶ Te unirás a The Galaxy Zoo
-

Nuestro Sistema Solar es una diminuta parte de la Vía Láctea, un gran sistema de cientos de miles de millones de estrellas, miles de nebulosas y cientos de cúmulos de estrellas. A su vez, la Vía Láctea es uno de los mayores componentes del Grupo Local de Galaxias. Más allá del Grupo Local se encuentra el cúmulo de Virgo, el mayor y más cercano cúmulo de galaxias cercano, a unos 54 millones de años luz de la Tierra. Cuando los científicos miran con atención el universo a distancias mucho mayores, ven *supercúmulos*, inmensos sistemas que contienen muchos cúmulos individuales de galaxias. Hasta la fecha, no hemos encontrado supercúmulos de supercúmulos, sino *grandes murallas*, supercúmulos inmensamente largos. Gran parte del universo parece estar formado por gigantes vacíos cósmicos que contienen relativamente pocas galaxias detectables.

En este capítulo se incluye una introducción a la Vía Láctea y a sus partes más importantes. Te adentrarás más en el universo para conocer otros tipos de galaxias.

La Vía Láctea, también llamada “la Galaxia”, es inmensa y, quizá no sea tan dulce como una galleta de chocolate, pero, como las Oreos, tiene un centro que parece cremoso. Desde la Tierra, la Vía Láctea parece una banda ancha de luz difusa que se puede ver mejor en claras noches de invierno y de verano desde una ubicación oscura.

Hasta 1610, cuando Galileo la observó por primera vez con un telescopio, describir la Vía Láctea como un chorro de leche a través del universo era una explicación tan buena como cualquier otra. Galileo averiguó que la Vía Láctea no es algo extraordinario: está formada por un número enorme de estrellas (hoy en día, se estima que es de unos trescientos mil millones), la mayoría de las cuales tan tenues o tan lejos que, a nuestros ojos, se mezclan en una gran región difusa en el cielo. La mayoría de las estrellas de la Vía Láctea no pueden detectarse a simple vista, pero en grupo, brillan. Evidentemente, el telescopio fue una mejora definitiva para estudiar la Vía Láctea ¡y casi todo lo demás en el campo de la astronomía!

Las galaxias son los pilares del universo, y la Vía Láctea es un edificio de gran tamaño. Contiene prácticamente todo lo que puedes ver en el cielo a simple vista, desde la Tierra y nuestro Sistema Solar a las estrellas del vecindario solar, las estrellas visibles de las constelaciones, todas las estrellas que se mezclan para formar ese flujo parecido a la leche en el cielo nocturno y muchos objetos y materia que no puedes ver. Por si fuera poco, también contiene casi todas las nebulosas que puedes ver sin ayuda del telescopio, y muchas más.

Descubre a la impenetrable Vía Láctea

En el pasado, a los observadores de estrellas no les costaba ver la Vía Láctea, pero ahora muchas personas no pueden verla o no saben que existe porque viven en ciudades o cerca de ciudades con tanta luz que el cielo brilla por la contaminación lumínica, y ha dejado de ser oscuro.

¿Cuál es la solución? Al menos de vez en cuando, huye de la contaminación lumínica. Ve a la montaña o a la costa durante las vacaciones o un fin de semana y verás un cielo más oscuro que el que tienes en casa.

La luz de la Luna también es un obstáculo cuando quieres ver la Vía Láctea, así que prepara tu viaje para cuando haya luna nueva, momento en el cual casi no hay luz de Luna en el cielo. La Vía Láctea se observa mejor durante el verano y el invierno, y es menos visible en primavera y otoño. (Si quieres obtener consejos sobre la contaminación lumínica y los sitios con cielos oscuros para observar estrellas, visita la web de la Asociación Internacional de Cielo Oscuro, www.darksky.org.)

¡Eso sí que es un buen vaso de leche! Además de estrellas independientes, la Vía Láctea tiene cientos de cúmulos de estrellas, como las Pléyades y las Híades en la constelación Tauro y, para los afortunados observadores de Australia, Sudamérica y otros puntos muy al sur, el Joyero en Crux, la Cruz (del Sur) y el magnífico cúmulo de estrellas Omega Centauri.

¿Cómo y cuándo se formó la Vía Láctea?

La Vía Láctea es casi tan vieja como el universo y, como mínimo, se remonta a los trece mil millones de años que los científicos estiman que es la edad de algunas de sus estrellas más antiguas. Hace tiempo, la gravedad provocó una nube gigante de gas primordial que se agrupara y condensara. Cuando los pequeños grumos del interior de la nube se colapsaban incluso más de prisa que la nube en su conjunto, se formaban estrellas. A pesar de que al principio la gran nube debía haber girado muy despacio, habría rotado más y más de prisa a medida que se hacía cada vez más pequeña y se habría achatado dando lugar a la estructura actual de disco espiral. Y, de repente, *voilà, la Voie Lactée* (en francés “ahí está, la Vía Láctea”). De hecho, no es tan sencillo porque la Vía Láctea es una glotona, se ha tragado galaxias vecinas más pequeñas durante eones, añadiendo sus estrellas a su propia colección. Y sigue con hambre... ¡Qué peligro!

Sin duda, acabas de leer mi teoría favorita sobre la Vía Láctea. Si tienes una mejor, hazte astrónomo y escribe tu propio libro. En ciencia, las teorías hacen girar el mundo, y quizá incluso la Galaxia.

¿Qué forma tiene la Vía Láctea?

La Vía Láctea tiene una forma y tamaño determinados porque, en el universo, reina la gravedad. La Vía Láctea es una galaxia espiral con forma de pizza (el *disco galáctico*, de unos 100.000 años luz de diámetro) que tiene unos brazos en espiral (consulta la figura 12-1) y que está formada por miles de millones de estrellas. Los brazos tienen una forma parecida a los chorros de agua de un aspersor para regar el césped y contienen muchas nubes de gas y jóvenes y brillantes estrellas blancas y azules. Grupos de estrellas jóvenes y calientes (llamadas *asociaciones*) salpican los brazos en espiral del disco galáctico como si fueran lonchas de *pepperoni* de una *pizza*. Por todos los brazos parecen brotar brillantes y oscuras nebulosas, junto a enormes nubes moleculares como Monoceros R2 (su ubicación está marcada en la figura 12-1), donde la mayor

parte del gas es frío y tenue. Entre los brazos, se encuentran las *regiones interbrazo* (no todos los términos astronómicos son tan memorables como Barnacle Bill, el nombre de una roca de Marte, ni Rectángulo Rojo, una nebulosa con forma de reloj de arena, ¡quién lo hubiera dicho!).

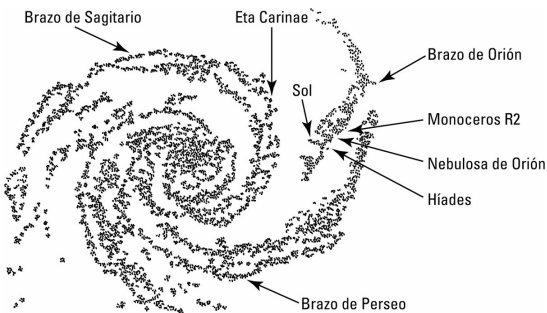


Figura 12-1:

La Vía Láctea es una galaxia espiral cuyos brazos están alrededor del centro galáctico

En el centro de nuestra galaxia existe un lugar llamado (sí, ¡lo has adivinado!) *centro galáctico* y, en el centro, se encuentra el bulbo galáctico, que haría palidecer a un luchador de sumo. El *bulbo galáctico* es una formación casi esférica de millones de estrellas, sobre todo anaranjadas y rojas, que se sienta como una albóndiga gigante en el centro del disco galáctico y se extiende por encima y por debajo de éste. Pero, al menos, algunas de las estrellas del bulbo están colocadas en una formación alargada, con una forma más de salchicha que de albóndiga. Los astrónomos llaman *barra* a esta salchicha. Cuando una galaxia espiral tiene una barra destacada, se la llama *espiral barrada* (comento las espirales barradas más adelante en este capítulo), pero la barra de la Vía Láctea no es muy evidente.

En el centro del bulbo galáctico encontramos Sagitario A*, un agujero negro supermasivo. En la figura 12-1, se presenta un modelo de la Vía Láctea con su cobertura e ingredientes (se trata de un primer plano del disco galáctico en el que se ha omitido el bulbo galáctico para conseguir mayor claridad).

La mires por donde la mires, la Vía Láctea es una galaxia estúpida.

El plano medio o superficie imaginaria plana del disco galáctico recibe el

nombre de *plano galáctico*, y el círculo que representa su intersección con el cielo, tal y como se ve desde la Tierra, se conoce como *ecuador galáctico*.

A veces, los astrónomos señalan la posición de un objeto en coordenadas galácticas en lugar de utilizar la ascensión recta y la declinación (coordenadas que defino en el capítulo 1). Las coordenadas galácticas son la *latitud galáctica*, que se mide en grados al norte o al sur del ecuador galáctico, y la *longitud galáctica*, que se mide en grados a lo largo del ecuador galáctico.

La longitud galáctica empieza en la dirección del centro galáctico, que es la longitud 0°. (De hecho, el punto cero de la longitud galáctica está ligeramente desplazado del centro galáctico porque, en 1959, los científicos lo situaron donde se creía que estaba el centro galáctico; ahora se conoce mejor.) La longitud galáctica avanza a lo largo del ecuador galáctico desde la constelación Sagitario hacia Aquila, Cygnus y Cassiopeia. Atraviesa Auriga, Canis Major, Carina y Centaurus hasta los 360° de longitud, de vuelta al centro galáctico. Cuando miras con prismáticos a las constelaciones que acabo de mencionar, ves más estrellas, cúmulos de estrellas y nebulosas que en ningún otro punto del cielo. La verdad es que las constelaciones que cruzan el plano galáctico son de las vistas más fantásticas del cielo.



Puedes encontrar mapas panorámicos del plano galáctico de la Vía Láctea, tal y como se registran con radiotelescopios, satélites de observatorios de rayos X y rayos gamma, y telescopios en tierra de luz visible (u “ópticos”) en la web MultiWavelength Milky Way de la NASA, <http://mwmw.gsfc.nasa.gov>.

Observa más allá de la Vía Láctea

Los tres objetos que están más allá de la Vía Láctea pero que son visibles a simple vista son la Gran Nube y la Pequeña Nube de Magallanes (dos galaxias cercanas que pueden verse desde el hemisferio sur) y la Galaxia de Andrómeda. Hay personas con una visión excelente (y otras que quieren impresionar a sus amigos) que dicen que también pueden ver la Galaxia del Triángulo. Tanto las galaxias de Andrómeda como la del Triángulo están a unos 2 millones de años luz de la Tierra, pero Andrómeda es más grande y más brillante. Cuento la Gran Nube de Magallanes como un objeto pero, de hecho, contiene una enorme nebulosa brillante, la Tarántula, que puedes ver a simple vista (no te preocupes, no pica). En 1987, durante unos meses se pudo

ver una supernova brillante en la Gran Nube, la Supernova 1987A. Fue la primera supernova visible a simple vista desde la Estrella de Kepler en 1604, a pesar de que no estuviera en nuestra galaxia. A diferencia de la Estrella de Kepler, la Supernova 1987A no fue visible desde Europa ni desde Estados Unidos continental, pero se pudo ver sin problemas desde Australia, Chile y Sudáfrica.

¿Dónde puedes encontrar la Vía Láctea?

La Vía Láctea no está a cierta distancia de la Tierra, sino que contiene nuestro planeta. El centro galáctico está a unos 27.000 años luz de la Tierra. Mediciones recientes con un radiotelescopio llamado *Very Long Baseline Array* muestran que el Sistema Solar tarda unos 226 millones de años en describir una órbita alrededor del centro galáctico. La medición aclaró una discrepancia: los científicos no estaban seguros de si este intervalo, el *año galáctico*, era de 200 o de 250 millones de años. Ahora, tienen un número exacto.

Las zonas más exteriores del disco galáctico (o *borde galáctico*, el nombre por el que lo conocen los fans de la ciencia ficción) están, en su punto más cercano a la Tierra, a una distancia similar a la del centro galáctico, pero en dirección opuesta. El disco de la Vía Láctea es casi idéntico a la banda lechosa de luz que vemos en el cielo.

La Vía Láctea está a aproximadamente 169.000 años luz de una galaxia llamada Gran Nube de Magallanes, a unos 2,6 millones de años luz de la Galaxia de Andrómeda y a 54 millones de años luz del cúmulo de galaxias más cercano, el Cúmulo de Virgo. Además, en medio de un pequeño cúmulo de galaxias (aquí el tamaño es relativo) se encuentra precisamente el Grupo Local.

Cúmulos de estrellas: conoce las asociaciones galácticas

Los cúmulos de estrellas son agrupaciones de estrellas situadas dentro y alrededor de una galaxia. No se han asociado por casualidad (aunque un tipo de cúmulo de estrellas reciba el nombre de *asociación*); son grupos de estrellas que se formaron juntas a partir de una nube común y, en la mayoría de los casos, se mantienen unidas gracias a la gravedad. Las tres clases principales de cúmulos de estrellas son *cúmulos abiertos*, *cúmulos globulares* y *Asociaciones OB*.



Si quieres ver magníficas imágenes de cúmulos de estrellas, consulta la web del Anglo-Australian Observatory en www.aao.gov.au/images, o date un capricho y cómprate un lujoso libro ilustrado, *The Invisible Universe*, de David Malin (Bulfinch Press, 1999), que contiene una colección de las mejores fotografías del Anglo-Australian Observatory. Está traducido al francés, alemán, italiano y japonés, pues a todo el mundo le gustan esas increíbles imágenes. También puedes ver una foto de un cúmulo de estrellas en nuestra página web.

La adaptación flexible: cúmulos abiertos

Los *cúmulos abiertos* contienen entre docenas y miles de estrellas, no tienen una forma determinada y están situados en el disco de la Vía Láctea. Los cúmulos abiertos típicos se extienden unos 30 años luz. No están altamente concentrados hacia sus centros (si lo están), a diferencia de los cúmulos globulares (consulta el siguiente apartado), y los cúmulos abiertos suelen ser mucho más jóvenes. Los cúmulos abiertos son fantásticos para hacer observaciones con telescopios pequeños y prismáticos, y algunos se pueden ver a simple vista. Puedes encontrarlos marcados en la mayoría de los buenos atlas de estrellas, como el *Pocket Sky Atlas* de *Sky & Telescope*, obra de Roger W. Sinnott (New Track Media, 2006). En este atlas, los cúmulos abiertos se marcan con discos amarillos de línea discontinua, y el tamaño de los discos es proporcional a los tamaños aparentes de los cúmulos tal y como se ven desde la Tierra (el atlas también muestra cúmulos globulares, que describo en el siguiente apartado).



Los cúmulos abiertos más famosos y que se ven con mayor facilidad en el cielo del norte son los siguientes:

- ✓ **Las Pléyades (también conocidas como “las siete hermanas” o “las siete cabritillas”):** Están situadas en la esquina noroeste de Tauro. A simple vista, las Pléyades parecen un carro diminuto. Puedes comparar lo que ves tú con lo que ve un amigo comprobando cuántas estrellas puedes contar en las Pléyades, que es M45, el objeto 45 del

Catálogo Messier (consulta el capítulo 1). Mira con prismáticos para ver cuántas puedes encontrar. La estrella más brillante de las Pléyades es Eta Tauri (3.^a magnitud), que también recibe el nombre Alcíone (consulta el capítulo 1 si buscas una explicación de las magnitudes).

- ✓ **Las Híades:** También se encuentran en Tauro y son perfectas para observar a simple vista. Las Híades incluyen a la mayoría de las estrellas que integran la forma de V en la cabeza de Tauro. Seguro que ves este cúmulo porque cerca del vértice de la V es precisamente donde está la brillante gigante roja Aldebarán (1.^a magnitud), que es Alfa Tauri (consulta la figura 12-2). De hecho, Aldebarán está más allá del cúmulo de Las Híades, pero parece estar en la misma dirección desde la Tierra. Las Híades parecen mucho más grandes que las Pléyades porque están a unos 150 años luz desde la Tierra, mientras que las Pléyades están a alrededor de 400.
- ✓ **El Cúmulo Doble:** Situado en Perseo (el Héroe), el Cúmulo Doble ofrece una visión preciosa que se puede obtener mirando con prismáticos y especialmente a través de un telescopio pequeño. Sus dos cúmulos son NGC 869 y 884, y cada uno está a unos 7.000 años luz de la Tierra. NGC significa *Nuevo Catálogo General*, que era nuevo cuando en 1888 apareció por primera vez y no incluía a ningún general (ni capitán, ni coronel)...
- ✓ **La Colmena (también llamada el Pesebre):** El Pesebre (Messier 44) es la principal atracción de Cáncer, una constelación compuesta por estrellas tenues. A simple vista, parece una mancha borrosa. Si miras con unos prismáticos, es como un enjambre de muchas estrellas. Este cúmulo se encuentra a unos 600 años luz de la Tierra.

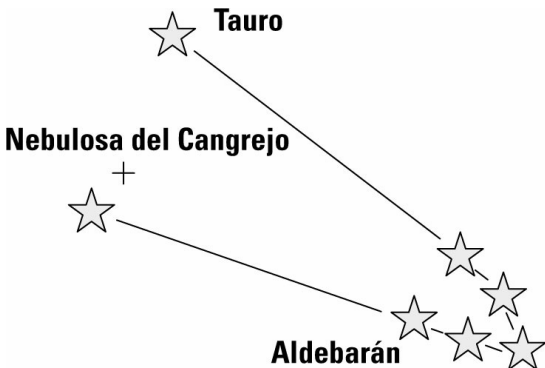


Figura 12-2:

Tauro contiene la gigante roja Aldebarán (Alfa Tauri)



Los observadores del hemisferio sur pueden disfrutar de estos cúmulos abiertos:

- ✓ **NGC 6231:** En Escorpio (Escorpión), NGC 6231 es un objeto del cielo austral, pero las tardes de verano lo puedes identificar fácilmente desde el sur de Europa. Colócate en un lugar oscuro desde el cual el horizonte sur esté despejado. El observador Robert Burnham Jr. lo describió así: “Parece un puñado de diamantes sobre terciopelo negro”.
- ✓ **NGC 4755 (también se conoce como el Joyero):** Situado en Crux (la Cruz), el Joyero incluye la estrella brillante Kappa Crucis. Crux, conocida popularmente como la Cruz del Sur, es una eterna favorita de los observadores del hemisferio sur. Si haces un crucero por los Mares del Sur, insiste en que el barco incluya a bordo a un profesor de astronomía (probablemente, yo pueda acompañaros). Así, el profesor puede señalar la Cruz del Sur; con prismáticos, podrás disfrutar de una

La gran opresión: los cúmulos globulares

Los *cúmulos globulares* son los asilos de la Vía Láctea. Parecen tan antiguos como la propia galaxia (algunos expertos creen que los cúmulos globulares fueron los primeros objetos que se formaron en la Vía Láctea), así que contienen estrellas antiguas, entre las que hay muchas gigantes rojas y enanas blancas (consulta el capítulo 11). Las estrellas que puedes ver en un cúmulo globular con tu telescopio son, en general, gigantes rojas. Con telescopios más grandes, puedes ver estrellas enanas naranjas y rojas de la secuencia principal. Sólo el telescopio espacial *Hubble* y otros instrumentos muy potentes pueden identificar un gran número de las enanas blancas mucho más tenues de un cúmulo globular.

Un cúmulo globular de estrellas típico contiene entre cien mil y un millón o más de estrellas, todas estrujadas dentro de una bola (de ahí el término *globular*) que sólo mide entre 60 y 100 años luz de diámetro. Cuanto más cerca estén las estrellas del centro, más masificación habrá (consulta la figura 12-3). El alto grado de concentración y el gran número de estrellas diferencian un cúmulo globular de un cúmulo abierto.

Otra diferencia clave es que los cúmulos abiertos se reparten a través del disco galáctico siguiendo un patrón aplanado, sin embargo, los cúmulos globulares están esféricamente colocados alrededor del centro de la Vía Láctea. La mayor parte de los cúmulos globulares se concentran hacia el centro galáctico, pero muchos de los globulares que puedes ver con facilidad están muy por encima o por debajo del plano galáctico.



Aquí están los cúmulos globulares que mejor se observan en el cielo del norte:

- ✓ **Messier 13:** Este cúmulo globular se encuentra en Hércules, que representa al personaje del mito que lleva ese mismo nombre.
- ✓ **Messier 15:** Puedes encontrar este cúmulo globular en Pegaso, el caballo alado.



Cortesía de la NASA

Figura 12-3:

Cúmulo globular G1 en la Galaxia de Andrómeda

Si el cielo está realmente oscuro, podrás ver tanto M13 como M15 a simple vista, pero para asegurar la observación lo mejor es usar prismáticos o un telescopio pequeño, para ver los cúmulos como puntos borrosos más grandes que las estrellas. Utiliza un mapa estelar (como el *Pocket Sky Atlas*, de *Sky & Telescope* que menciono en el apartado anterior) para situar los cúmulos.



Los observadores del hemisferio norte se pierden los mejores

cúmulos globulares de estrellas porque los dos más grandes y más brillantes con diferencia brillan en el profundo cielo del sur:

✓ **Omega Centauri:** Se encuentra en Centaurus (el Centauro).

✓ **47 Tucanae:** En Tucana (el Tucán).

Estos cúmulos ofrecen espectaculares imágenes a las que puedes acceder a través de prismáticos pequeños y vale la pena hacer el viaje hasta Sudamérica, Sudáfrica, Australia u otros lugares en los que los puedas ver.

¡Ah! Recuerda que encontrarás la foto de un cúmulo globular en la galería de imágenes que hemos colgado en nuestra página web.

Fue divertido mientras duró: asociaciones OB

Las *asociaciones OB* son agrupaciones estelares independientes con docenas de estrellas de tipo espectral O y B (los tipos de estrellas más calientes de la secuencia principal) y, en ocasiones, estrellas más tenues y frías (consulta el capítulo 11 para obtener más información sobre los tipos espectrales). A diferencia de los cúmulos abiertos y globulares, la gravedad no mantiene unidas las asociaciones OB; con el tiempo, las estrellas se separan y disuelven la asociación, como una sociedad limitada que se rompe. Las asociaciones OB se sitúan cerca del plano galáctico.

Muchas de las estrellas jóvenes y brillantes de la constelación de Orión forman parte de la Asociación OB de Orión. (Consulta el capítulo 3 para obtener más información sobre Orión.)

Haz buenas migas con las nebulosas

Una nebulosa es una nube de gas y polvo en el espacio (con “polvo” nos referimos a microscópicas partículas sólidas que pueden estar formadas por roca silicatada, carbono, hielo o varias combinaciones de estas sustancias; con “gas” indicamos hidrógeno, helio, oxígeno, nitrógeno y más, pero, principalmente, hidrógeno). Tal y como explico en el capítulo 11, algunas nebulosas tienen una función importante en la formación de estrellas; otras se forman a partir de estrellas moribundas en su lecho de muerte. De la cuna a la tumba, hay nebulosas de muchos tipos. (Puedes ver la foto de una nebulosa en la galería de

imágenes de la página web.)

Éstas son algunas de las nebulosas más conocidas:

- ✓ **Regiones H II:** Son nebulosas en las que el hidrógeno está ionizado, es decir, en las que el hidrógeno pierde su electrón (un átomo de hidrógeno tiene un protón y un electrón). El gas de una región H II está caliente, ionizado y resplandeciente gracias a los efectos de la radiación ultravioleta de estrellas cercanas O o B. Todas las nebulosas grandes y brillantes que puedes ver con prismáticos son regiones H II (*H II* se refiere al estado ionizado del hidrógeno de la nebulosa).
- ✓ **Nebulosas oscuras:** También conocidas como regiones H I, son las pelusas de polvo de la Vía Láctea, formadas por nubes de gas y polvo que no brillan. Su hidrógeno es neutro, lo que significa que los átomos de hidrógeno no han perdido sus electrones. El término *región H I* se refiere al estado neutro (no ionizado) del hidrógeno.
- ✓ **Nebulosas de reflexión:** Están formadas por polvo e hidrógeno neutro y frío. Brillan por la luz reflejada de las estrellas cercanas. Sin las estrellas próximas, serían nebulosas oscuras.

A veces, de repente aparece una nebulosa de reflexión nueva, y puede que la descubras tú, tal como hizo el astrónomo aficionado Jay McNeil. En enero de 2004 descubrió una nebulosa de reflexión nueva en la constelación de Orión con un refractor de 7,5 centímetros desde su jardín, y los profesionales ahora la llaman Nebulosa de McNeil. De todas formas, no te ilusiones; estos descubrimientos son muy poco frecuentes.
- ✓ **Nubes moleculares gigantes:** Son los objetos más grandes de la Vía Láctea, pero son oscuros y fríos, y los científicos no los habrían visto de no ser por los datos recopilados por los radiotelescopios, que pueden detectar las débiles emisiones de ondas de radio de las moléculas en esas nubes, como el monóxido de carbono (CO). Igual que el resto de las nebulosas, la mayoría de las nubes moleculares gigantes están compuestas por hidrógeno, pero los científicos suelen estudiarlas mediante los distintos gases que las integran, como el CO. El hidrógeno de las nubes gigantes es molecular, con la designación H₂, lo que significa que cada molécula está formada por dos átomos de hidrógeno neutros.

Uno de los descubrimientos de nebulosas más emocionantes del siglo XX fue que las regiones brillantes H II, como la Nebulosa de Orión, son puntos calientes de la periferia de nubes moleculares gigantes que no se ven. Durante siglos, la gente podía ver la Nebulosa de Orión, pero no sabía que no es más que un grano brillante en un enorme objeto invisible, la Nube Molecular de Orión. Según las ideas actuales, las estrellas nuevas nacen en nubes moleculares y, cuando se calientan lo suficiente, ionizan sus áreas circundantes inmediatas, convirtiéndolas en regiones H II. La parte de una nube molecular en la que el polvo es lo suficientemente denso como para ocultar la luz de muchas o de la mayoría de las estrellas detrás de esa nube, tal y como se ve desde la Tierra, recibe el nombre de *nebulosa oscura*.

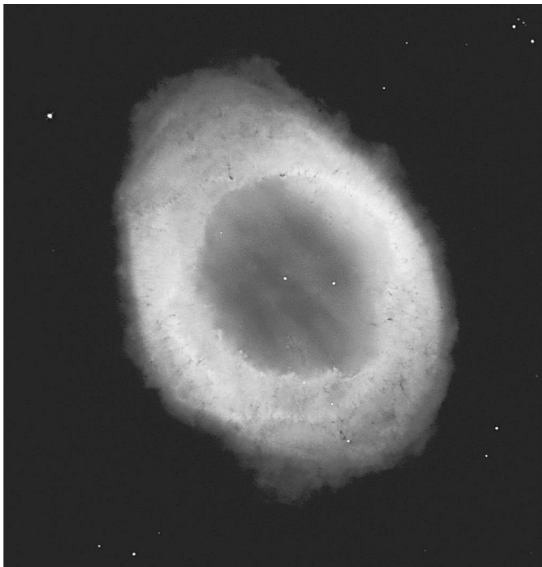
Las regiones H II, las nebulosas oscuras, las nubes moleculares gigantes y muchas de las nebulosas de reflexión están situadas cerca del disco galáctico de la Vía Láctea o bien dentro de éste.

Existen otros dos tipos interesantes de nebulosas: nebulosas planetarias y remanentes de supernovas, que comento brevemente en los apartados que aparecen a continuación (y en el capítulo 11).

Cómo identificar nebulosas planetarias

Las *nebulosas planetarias* las producen estrellas viejas que empezaron de forma similar al Sol, pero que, más tarde, expulsaron las capas atmosféricas más externas. En un futuro lejano, el Sol hará lo mismo (consulta el capítulo 10). Los gases expulsados forman las nebulosas, que se ionizan y brillan por la luz ultravioleta que procede de las pequeñas estrellas calientes que hay en sus centros. Las diminutas estrellas son lo único que queda de los soles anteriores. Las nebulosas planetarias se expanden en el espacio y se atenúan a medida que crecen. Pueden estar fuera del plano galáctico, a diferencia de las regiones H II (contempla una nebulosa planetaria en la galería de la web www.paradum mies.es).

Durante décadas, los astrónomos creían que muchas o la mayoría de las nebulosas planetarias eran más o menos esféricas. Pero ahora sabemos que la mayoría de estas nebulosas son *bipolares*, es decir, están formadas por dos lóbulos esféricos que se proyectan desde lados opuestos de la estrella central. Las nebulosas planetarias que parecen esféricas, como la Nebulosa del Anillo de la constelación Lyra (consulta la figura 12-4), también son bipolares, pero el eje del centro de los lóbulos apunta hacia la Tierra (y, por esa razón, parecen circulares, como cuando se observa una pesa desde un extremo). Los astrónomos tardaron muchos años en descubrirlo, quizá porque también somos un poco lentos.



Cortesía de la NASA

Figura 12-4:

La Nebulosa del Anillo de Lira es bipolar, pero desde la Tierra parece esférica

Cómo corregir una metedura de pata cósmica

Hasta la década de los cincuenta, los astrónomos utilizaban el término *nebulosa* para referirse a la galaxia porque, hasta la década de 1920, habían creído que las galaxias que no eran la Vía Láctea eran nebulosas que estaban dentro de la Vía Láctea. Es decir, los astrónomos creían que sólo existía una galaxia: la Vía Láctea.

Tardaron docenas de años en hacer que este cambio de idea prevaleciera en el lenguaje de la astronomía. Eso explica por qué hace poco tiempo que los autores de libros de astronomía han dejado de referirse a la Galaxia de Andrómeda como Nebulosa de Andrómeda.

Edwin P. Hubble, que dio nombre al telescopio *Hubble*, escribió el famoso libro *The Realm of the Nebulae*. El libro trataba de todo lo referido a las galaxias, no a las nebulosas tal y como los astrónomos utilizan el término hoy en día. Entre sus logros, Hubble demostró que la Nebulosa de Andrómeda es una galaxia llena de estrellas, no una gran nube de gas. Hubble fue boxeador, luchó en la Primera Guerra Mundial, fumaba en pipa, supuestamente atemorizaba a los otros astrónomos en el Observatorio Mount Wilson, y, además, hizo importantes descubrimientos.



Curiosidad: las *nebulosas protoplanetarias* son muy estudiadas por los astrofísicos, pero, en realidad, hay dos tipos de protonebulosas y no tienen nada que ver entre ellas. Un tipo es la etapa temprana de una nebulosa planetaria, es decir, la fase de la muerte de la estrella (que no debe confundirse con la Estrella de la Muerte de *La guerra de las galaxias*). El otro tipo de nebulosa protoplanetaria es la nube de nacimiento de la estrella y los planetas de un Sistema Solar. Sí, los astrónomos utilizan el mismo término para referirse a dos tipos de objetos totalmente distintos, pero nadie es perfecto.

La vida de los remanentes de supernovas

Los *remanentes de supernovas* empezaron como material expulsado de explosiones de estrellas masivas. Un joven remanente de supernova está formado casi exclusivamente por los restos que ha expulsado la estrella que ha explotado. Sin embargo, el gas se mueve hacia afuera a través del espacio interestelar, parece una piedra que rueda y acumula musgo. El remanente en expansión crea un efecto de quitanieves porque empuja (consulta el capítulo 11) y acumula el tenue gas del espacio interestelar. Al cabo de algunos miles de años, el remanente está compuesto principalmente por este gas interestelar “arrancado” y los restos de la estrella que ha explotado son sólo meras trazas. Los remanentes de supernovas se encuentran a lo largo o cerca del plano galáctico de la Vía Láctea.

Disfruta de las mejores vistas de nebulosas de la Tierra



Las nebulosas son una de las vistas más bonitas que se pueden obtener con telescopios pequeños. Si quieres empezar con un objetivo fácil, como la Nebulosa de Orión (que puedes ver a simple vista y con prismáticos) antes de apuntar hacia allí tu telescopio con la ayuda de un buen mapa estelar, como el *Pocket Sky Atlas* de *Sky & Telescope*. Para las regiones H II como la Nebulosa de Orión, un telescopio con un número *f*/ bajo, como el Orion ShortTube 80 Equatorial Refractor, puede ser el elegido (consulta el capítulo 4, donde comento cómo utilizar el telescopio para cazar cometas y obtener más información sobre esta herramienta). Para nebulosas más pequeñas, como la Nebulosa del Anillo que describo en la siguiente lista, el telescopio *Meade ETX-90* (consulta el capítulo 3) es una buena opción para un principiante. Este equipo tiene un sistema de control por ordenador gracias al cual el telescopio apunta con precisión a objetos que una persona no puede ver a simple vista.



A continuación encontrarás algunas de las mejores, más brillantes (si son nebulosas oscuras, más oscuras) y más bonitas nebulosas que puedes ver desde las latitudes del norte. Se incluyen también algunos objetos del cielo del sur que no están demasiado al sur del ecuador celeste:

- ✓ **La Nebulosa de Orión**, Messier 42 (consulta el capítulo 1), en Orión (el Cazador). A simple vista, puedes ver la Nebulosa de Orión, una región H II. Es un punto borroso situado en la espada de Orión. Se ve bien con prismáticos y es espectacular vista con un telescopio pequeño. El telescopio también muestra el Trapecio, una estrella brillante cuádruple (consulta el capítulo 11) en la nebulosa.
- ✓ **La Nebulosa anular**, Messier 57, en Lira. La Nebulosa Anular de la Lira es una nebulosa planetaria que, durante las tardes veraniegas se encuentra alta en el cielo en latitudes templadas del norte. Como ocurre con todas las nebulosas planetarias, necesitas un mapa estelar para encontrarla con el telescopio, a menos que tengas un telescopio informatizado como el Meade ETX-90 (consulta el capítulo 3), que, cuando se lo pides, señala directamente a la nebulosa.

- ✓ **La Nebulosa Dumbbell**, Messier 27, en Vulpecula (la Zorra). La Nebulosa Dumbbell, junto a la Nebulosa anular de la Lira, es una de las nebulosas planetarias más fáciles de ver con un telescopio pequeño. El mejor momento de observación es durante el verano y el otoño.
- ✓ **La Nebulosa del Cangrejo**, Messier 1, en Tauro. La Nebulosa del Cangrejo está formada por los restos de una supernova que explotó en el año 1054, vistos desde la Tierra. Si se mira a través de un telescopio pequeño parece un punto borroso, pero al observar a través de un telescopio grande, se ven dos estrellas cerca de su centro. Una estrella no está asociada con el Cangrejo, sino que sólo está en la misma línea de visión. La otra estrella es el pulsar (consulta el capítulo 11) que queda de la explosión de la supernova. Gira 30 veces por segundo, y uno u otro de sus dos rayos de faro barren la Tierra cada 1/60 de segundo con una frecuencia no demasiado diferente de la de la electricidad doméstica de corriente alterna de 50 ciclos (creo que es una analogía “potente”).
- ✓ **Nebulosa Norteamérica**, NGC 7000, en Cygnus (el Cisne). La Nebulosa Norteamérica (llamada así por su forma) es una región H II tenue pero grande que puedes ver a simple vista una tarde de verano desde cualquier lugar oscuro sin luz de Luna. Para observarla, utiliza tu visión periférica, es decir, mira con el rabillo del ojo.
- ✓ **El Saco de Carbón Boreal**, en Cygnus (el Cisne) El Saco de Carbón Boreal es una nebulosa oscura cerca de Deneb, que es Alfa Cygni, la estrella más brillante de Cygnus. Puedes reconocer el Saco de Carbón a simple vista porque parece una mancha oscura contra el fondo brillante de la Vía Láctea.



No te olvides de estas nebulosas situadas en declinaciones sur moderadas. Puedes verlas desde muchos lugares del hemisferio norte y desde cualquier punto del hemisferio sur:

- ✓ **La Nebulosa de la Laguna**, Messier 8, en Sagitario (el Arquero).
- ✓ **La Nebulosa Trífida**, Messier 20, en Sagitario.

La Nebulosa de la Laguna y la Nebulosa Trífida son regiones H II grandes y brillantes que puedes ver en el campo de visión de tus prismáticos. El mejor momento para observarlas es durante las primeras horas de las noches de verano. Una fotografía en color muestra que la Nebulosa Trífida tiene una zona brillante roja y una zona más tenue azul. La zona roja es la región H II y, la zona azul, una nebulosa de reflexión.



Entre las mejores nebulosas del hemisferio sur se incluyen:

- ✓ **La Nebulosa de la Tarántula**, en la constelación del Dorado. La Nebulosa de la Tarántula se encuentra en la galaxia Gran Nube de Magallanes, pero es una región H II tan enorme y brillante que es visible a simple vista para los observadores de latitudes templadas del sur y latitudes más meridionales. La Tarántula es otro de los objetos que debes observar si haces un crucero por los Mares del Sur, además de la Cruz del Sur y el cúmulo de estrellas llamado El Joyero (consulta el apartado “Cúmulos de estrellas: conoce las asociaciones galácticas” que aparece anteriormente en este capítulo).
- ✓ **La Nebulosa de Carina**, en la constelación de Carina (la Quilla). La Nebulosa de Carina, cerca de la enorme e inestable estrella Eta Carinae (consulta el capítulo 11), es una región H II grande y brillante.
- ✓ **El Saco de Carbón**, en Crux (la Cruz). El Saco de Carbón, una nebulosa oscura, es una gran mancha negra, de varios grados de lado, dentro de la Vía Láctea. En una noche clara y de cielo oscuro, es imposible no verla siempre que estés en latitudes muy al sur. Por cierto, Crux (la Cruz) es el nombre oficial de lo que la mayoría de la gente llama la Cruz del Sur.
- ✓ **La Nebulosa de los ocho estallidos**, NGC 3132, en Vela. La Nebulosa de los ocho estallidos es una nebulosa planetaria que a veces recibe el nombre de Nebulosa del Anillo Austral; se parece a la Nebulosa anular de la Lira, mencionada anteriormente en este apartado, pero es un poco más tenue.



Si quieres ver algunas de las mejores imágenes en color de nebulosas (y de galaxias y objetos del espacio profundo), consulta la galería de imágenes Hubble Heritage Image Gallery: <http://heritage.stsci.edu/gallery/gallery.html>.

Otra gran fuente de fotos de nebulosas y más objetos celestes es la web Astronomy Picture of the Day: <http://apod.nasa.gov>.

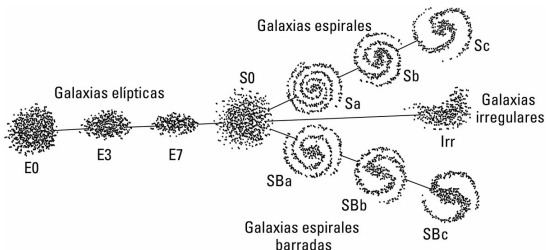
Controla las galaxias

Una galaxia grande está formada por miles de cúmulos de estrellas y miles de millones o billones de estrellas individuales que se mantienen unidas gracias a la gravedad. La Vía Láctea cumple los requisitos de ser un gran sistema espiral, pero hay galaxias de todas las formas y tamaños (consulta la figura 12-5 para ver esquemas de varios de los tipos principales).

En función de su tamaño y forma, los tipos principales de galaxias son:

- ✓ Espiral.
- ✓ Espiral barrada.
- ✓ Lenticular.
- ✓ Elíptica.
- ✓ Irregular.
- ✓ Enana.
- ✓ Galaxias de bajo brillo superficial.

En los siguientes apartados comento todos estos tipos, así como otras galaxias fantásticas, el hogar de la Vía Láctea, el Grupo Local, e incluso grupos más grandes de galaxias, como los cúmulos y los supercúmulos.



Dinah L. Moché/Astronomy: A Self-Teaching Guide, séptima edición

Figura 12-5:
Existen galaxias de muchas formas y tamaños

Conoce las galaxias espirales, espirales barradas y lenticulares

Las *galaxias espirales* tienen forma de disco, con brazos espirales que se extienden por su interior. Pueden parecerse a la Vía Láctea, o quizá sus brazos pueden enrollarse más o menos estrechamente que los brazos espirales de nuestra galaxia. El bulbo central de estrellas de otra galaxia espiral puede ser más o menos prominente comparado con los brazos. En la figura 12-5, las galaxias espirales aparecen clasificadas con el *tipo de Hubble*, Sa, Sb y Sc (sí, los tipos de galaxia también llevan el nombre de Edwin Hubble). A medida que se avanza de Sa a Sc en esa secuencia (o más allá, hasta Sd), los brazos espirales de las galaxias están menos enrollados y los bulbos centrales son menos prominentes.

Las galaxias espirales tienen una gran cantidad de gas interestelar, nebulosas, asociaciones OB y cúmulos abiertos, además de cúmulos globulares. En la página web podrás ver una foto de galaxias espirales.

Las *galaxias espirales barradas* son galaxias espirales en las que los brazos no parecen salir del centro de la galaxia, sino que, aparentemente, surgen de los extremos de una nube de estrellas alargada o con forma de balón de rugby que se extiende desde el centro. Esta nube de estrellas recibe el nombre de *barra*. El gas de las partes más exteriores de la galaxia puede canalizarse hacia el centro a través de la barra en un proceso que forma estrellas nuevas que configuran el bulbo central de la galaxia y hace que aún se llene más. Estas galaxias incluyen

los tipos con las etiquetas SBa, SBb y SBc de la figura 12-5. La secuencia desde SBa a SBc (y más allá, hasta SBd, que no se muestra en la figura) va desde las espirales barradas con brazos estrechamente enrollados y bulbos centrales relativamente grandes a otras con brazos abiertos y bulbos pequeños.

Las *galaxias lenticulares* (con forma de lente) son sistemas planos y achatados con discos galácticos, igual que las galaxias espirales. Contienen gas y polvo, pero no tienen brazos espirales. Estas galaxias están marcadas con su tipo, S0, en la figura 12-5.

Estudio de las galaxias elípticas

Las *galaxias elípticas* tienen forma de balón, y esa definición se refiere tanto a la forma de los balones de fútbol como de *rugby*. Es decir, algunas elípticas tienen una forma elipsoidal, parecida al balón de *rugby*, y otras son esféricas, como una pelota de fútbol. Las galaxias elípticas pueden crear bonitas visiones y a mí me encantan. Contienen muchas estrellas viejas y cúmulos globulares de estrellas, pero poco más. Las galaxias elípticas aparecen con el nombre de sus tipos Hubble desde E0 a E7 en la figura 12-5. Forman una secuencia desde las galaxias elípticas más redondeadas en E0 hasta las más planas en E7.

Una galaxia es una galaxia

Escribir *galaxia* y *galaxias* sin parar es repetitivo. Pero ¿existe algún sinónimo para *galaxia*? Algunos individuos desinformados (o sus editores) escriben *cúmulo de estrellas* para variar un poco, pero es un error. Y un gran grupo de galaxias no es un *cúmulo galáctico*, término alternativo para referirse a un cúmulo de estrellas abierto dentro de una galaxia. Sin embargo, el término que utilizan los astrónomos para referirse a un grupo grande de galaxias es *cúmulo de galaxias*. El cúmulo está compuesto por galaxias, pero no es *galáctico*.

Las galaxias elípticas son sistemas en los que la formación de estrellas casi ha finalizado o ha acabado totalmente. No tienen regiones H II, cúmulos de estrellas jóvenes, ni asociaciones OB. Imagínate vivir en una de estas galaxias tan sosas, que no tienen algo como la Nebulosa de Orión para entretenerse ni tampoco crean estrellas nuevas. Además, probablemente tampoco pongan nada bueno en la tele.

Quizá la producción de estrellas haya acabado en una galaxia elíptica porque

todo el gas interestelar se ha agotado con la creación de las estrellas que ya están en ella. Otra posibilidad es que la formación de estrellas haya acabado porque algo haya hecho desaparecer o haya barrido todo el gas restante adecuado para crear más estrellas. Digo “adecuado” porque, a pesar de no mostrar regiones H II ni grupos de estrellas jóvenes, algunas galaxias elípticas tienen un gas extremadamente caliente (de hecho, tan tenue y caliente que sólo brilla con rayos X). El gas en este estado no se condensa fácilmente hasta formar una estrella. Y, a decir verdad, algunas galaxias elípticas muestran una serie de cúmulos azulados de estrellas que parecen cúmulos globulares de estrellas muy jóvenes, mucho más que cualquiera de la Vía Láctea.



Una de las principales teorías sobre las galaxias elípticas (o, como mínimo, sobre *algunas* galaxias elípticas) es que se forman a través de la colisión y la fusión de galaxias más pequeñas. La colisión de dos galaxias espirales, por ejemplo, pueden producir una gran galaxia elíptica, y las ondas de choque que se producen pueden comprimir grandes nubes moleculares en las espirales, lo que origina enormes cúmulos de estrellas calientes y jóvenes, quizá los cúmulos azulados de estrellas que se encuentran en algunas elípticas. Sin embargo, la colisión de una galaxia espiral pequeña con una espiral grande sólo provocará que la grande se trague a la pequeña, lo que hace que el bulbo central de la espiral crezca aún más.

Mientras los astrónomos estudiamos el espacio, vemos muchos ejemplos de colisión y fusión de galaxias. Cuanto más lejos en el espacio miramos (con lo cual, examinaremos el universo de una época más antigua), más abundantes parecen las fusiones. Aparentemente, las colisiones de galaxias eran comunes en el universo temprano y pueden haber ayudado a formar muchas de las galaxias que vemos hoy en día.

Galaxias irregulares, enanas y galaxias de bajo brillo superficial

Las *galaxias irregulares* poseen formas que tienden a ser, pues eso, irregulares. Quizá encuentres los indicios de una pequeña estructura espiral en alguna de ellas, o no. En general, tienen una gran cantidad de frío gas interestelar y siempre hay estrellas que se forman en su interior. Normalmente, parecen más pequeñas que las elípticas y las espirales de tamaño estándar, con muchas menos estrellas. Puedes ver una galaxia irregular con su tipo, Irr, en la figura 12-5.

Las *galaxias enanas* son exactamente lo que su nombre indica: diminutas galaxias que pueden medir sólo algunos miles de años luz (o menos). Las galaxias

enanas se dividen en estos tipos: elípticas enanas, esferoidales enanas, irregulares enanas y espirales enanas. Blancanieves tenía siete enanitos, pero el universo puede que tenga miles de millones de galaxias enanas. Por nuestros lares, el Grupo Local de Galaxias, las galaxias más comunes son las enanas, igual que las estrellas más comunes en la Vía Láctea son las más pequeñas, las enanas rojas. Probablemente ocurra lo mismo en el resto del universo.

Las galaxias enanas suelen ser excepcionalmente ricas en materia oscura, una misteriosa sustancia (o sustancias) que describo en el capítulo 15.

En la figura 12-5 no verás galaxias enanas porque Edwin Hubble no las incluyó cuando hizo el diagrama original, como tampoco incluyó las galaxias de bajo brillo superficial que he incluido yo, pues aún no se habían descubierto. Oye, nadie es perfecto.

Las *galaxias de bajo brillo superficial* se reconocieron como una categoría principal en la década de 1990. Algunas de ellas son tan grandes como la mayoría de las demás galaxias, pero éstas apenas brillan. A pesar de contener un depósito lleno de gas, no han producido muchas estrellas a partir de este gas, por eso no parecen tan brillantes. Durante décadas, en su estudio del cielo los astrónomos las pasaron por alto, pero ahora estamos empezando a fijarnos en ellas gracias a las avanzadas cámaras electrónicas. Los astrónomos han encontrado algunas galaxias muy pequeñas de bajo brillo superficial, las galaxias menos luminosas de todas. Las llamo “galaxias de bulbo tenue”. ¿Quién sabe qué más hay ahí afuera que todavía no hayamos visto?

Algunos astrofísicos piensan que gran parte de la masa del universo puede estar formada por galaxias de bajo brillo superficial que no hemos contado correctamente. Es decir, pasaría como con algunos grupos de personas, que no están correctamente reconocidas en el censo de su país.

Q uédate de piedra con las grandes galaxias



Para disfrutar de vistas telescópicas de galaxias, utiliza telescopios como los que recomiendo en el apartado “Disfruta de las mejores vistas de nebulosas de la Tierra”, anteriormente en este capítulo. Las grandes galaxias, como la Galaxia de Andrómeda o la Galaxia del Triángulo, ofrecen vistas fantásticas que puedes obtener con un telescopio de número f / bajo (consulta el capítulo 3). Para ver galaxias más pequeñas, recomiendo un telescopio con una función de control informático que apunte el telescopio al lugar exacto del cielo.

El *Pocket Sky Atlas* de *Sky & Telescope* y otros atlas muestran dónde se encuentran las galaxias brillantes entre las constelaciones.



Éstas son las mejores galaxias que puedes ver desde el hemisferio norte. Cuando menciono la estación del año en la que tendrás mejor visión, me refiero al hemisferio norte (recuerda, en el hemisferio norte es otoño cuando los brasileños disfrutan de la primavera).

- ✓ **La Galaxia de Andrómeda** (Messier 31; consulta el capítulo 1), en Andrómeda, es una constelación a la que pusieron este nombre por una princesa etíope de la mitología griega. También se conoce como Gran Galaxia Espiral de Andrómeda y, hace tiempo, era conocida como Gran Nebulosa Espiral de Andrómeda o Nebulosa de Andrómeda. A simple vista, parece una mancha borrosa. La puedes ver en el cielo de las tardes de otoño. Desde un punto de observación oscuro, con tus prismáticos la identificarás a unos 3° (o unas seis veces el tamaño de la luna llena) en el cielo. No intentes ver esta galaxia cuando haya luna llena porque, en el mejor de los casos, obtendrás una imagen mediocre. Espera hasta que haya luna creciente o hasta que esté por debajo del horizonte. Cuanto más oscura sea la noche, más Galaxia de Andrómeda podrás ver.
- ✓ **NGC 205 y Messier 32**, en Andrómeda. Son dos galaxias pequeñas elípticas compañeras de la Galaxia de Andrómeda. Algunos expertos consideran que son galaxias enanas elípticas y otros, no (espero que se decidan). M32 tiene forma esferoidal y NGC 205, elipsoidal.
- ✓ **Galaxia del Triángulo** (Messier 33), en Triangulum (el Triángulo). Es otra gran galaxia espiral brillante y cercana, más pequeña y tenue que la Galaxia de Andrómeda. También puede verse en otoño con prismáticos.
- ✓ **La Galaxia del Remolino** (Messier 51), en la constelación Canes Venatici (perros de caza) (consulta la figura 12-6). Está mucho más lejos y es mucho más tenue que la Galaxia de Andrómeda y la del Triángulo, pero logras una imagen impresionante de ella a través de un telescopio pequeño de gran calidad. La Galaxia del Remolino es una espiral vista de cara, es decir, el disco galáctico está prácticamente en ángulo recto respecto a nuestra línea de visión desde la Tierra; miramos justo hacia abajo (o hacia arriba) sobre ella. Con los

telescopios más grandes de una fiesta de estrellas (consulta el capítulo 2), deberías ser capaz de divisar su estructura espiral desde una distancia de unos 23 millones de años luz. En Messier 51, el tercer conde de Rosse descubrió la estructura espiral de las galaxias en 1845 (parece que tenía el mayor telescopio del mundo). Búscala una noche oscura de primavera.

- ✓ **Galaxia del Sombrero** (Messier 104), en Virgo (la Virgen). Vista de lado, parece una galaxia espiral brillante, y así la clasificaban los astrónomos hasta hace poco. Sin embargo, la última teoría es que el Sombrero es una gigante galaxia elíptica que tiene una estructura parecida a la de una galaxia espiral en su interior. El “ala” del Sombrero es el disco galáctico de su estructura espiral. Hay una raya oscura a lo largo del ala porque la banda de nebulosas oscuras o sacos de carbón del disco está de lado respecto a nuestra línea de visión. Busca el Sombrero en primavera; está un poco más lejos que la Galaxia del Remolino, pero también se ve bien con un telescopio.

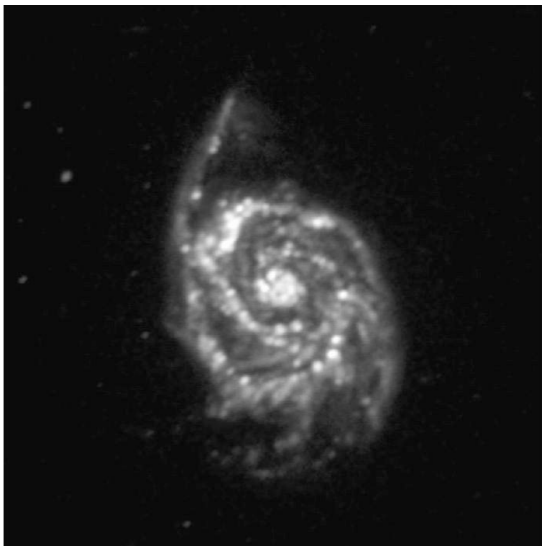


La siguiente lista presenta las mejores galaxias para los observadores del hemisferio sur:

- ✓ **La Gran y la Pequeña Nube de Magallanes** (GNM y PNM) son galaxias irregulares que orbitan alrededor de la Vía Láctea. La Gran Nube no sólo es más grande, sino que también está más cerca de la Tierra. Orbita a solamente 169.000 años luz (más o menos) de nosotros. De hecho, durante muchos años, los científicos creyeron que la Gran Nube de Magallanes era la galaxia más próxima a la Vía Láctea. (Hoy en día, los científicos saben que hay dos tenues y miserables galaxias, llamadas Galaxia Enana de Sagitario y Galaxia Enana de Canis Major, que están más cerca. Sin embargo, apenas podemos distinguir estos dos objetos en fotos telescópicas porque la Vía Láctea los está absorbiendo.)

De hecho, la Gran Nube de Magallanes y la Pequeña Nube de Magallanes parecen nubes en el cielo nocturno. Son grandes, brillantes y circumpolares en gran parte del hemisferio sur. Es decir, en latitudes muy al sur, nunca se ponen por debajo del horizonte. Si vas lo

suficientemente al sur en Sudamérica o a otro punto del hemisferio sur, podrás ver la Gran Nube de Magallanes y la Pequeña Nube de Magallanes todas las noches claras del año. Obsérvalas con prismáticos y comprueba cuántos cúmulos de estrellas y de nebulosas reconoces.



Cortesía de la NASA/JPL/Caltech

Figura 12-6:

La Galaxia del Remolino, fotografiada con luz ultravioleta por el satélite GALEX

- ✓ **La Galaxia del Escultor** (NGC 253) es una galaxia espiral grande y brillante y contiene mucho polvo. Caroline Herschel, que también encontró ocho cometas, la descubrió en 1783. Las personas del hemisferio sur pueden verla con prismáticos o con un telescopio en las noches oscuras de primavera. Los observadores del sur de Europa que tengan un horizonte sur despejado la pueden buscar a poca altura en el cielo de otoño.
- ✓ **Centaurus A** (NGC 5128) es una enorme galaxia de apariencia peculiar: esferoidal, pero con una banda densa de polvo en su centro. La galaxia es una fuente potente de ondas de radio y rayos X, y ha sido muy estudiada con radiotelescopios y con telescopios de rayos X en órbita. Los teóricos han cambiado constantemente de idea sobre si se trata de un ejemplo de colisión de galaxias. Algunos astrónomos sospechan que puede tratarse de otro objeto como la Galaxia del Sombrero: una galaxia elíptica gigante con una estructura espiral interna. Independientemente de cuál sea la teoría correcta, creo que Centaurus A se ha tragado a una galaxia más pequeña (o a dos) durante su existencia, así que, ¡observa desde una distancia prudencial! El mejor momento para ver este objeto en el hemisferio sur es en otoño.

Descubre el Grupo Local de Galaxias

El Grupo Local de Galaxias, llamado Grupo Local para abreviar, está formado por más de treinta miembros. Incluye dos espirales grandes (la Vía Láctea y la Galaxia de Andrómeda), una espiral más pequeña (la Galaxia del Triángulo), sus satélites (que incluyen la Gran Nube de Magallanes y la Pequeña Nube de Magallanes, así como M32 y NGC 205) y muchas galaxias enanas.

El Grupo Local no destaca por su ensamblaje de galaxias, pero es nuestro hogar y la mayor estructura a la que nosotros, desde la Tierra, estamos gravitatoriamente vinculados (es decir, la Tierra no se irá volando del Grupo Local a medida que el universo se expanda). Igual que el Sistema Solar no crece (porque la gravedad del Sol impide que los planetas se muevan hacia afuera o se escapen), el Grupo Local se mantiene firme por la gravedad de las tres galaxias espirales y los miembros más pequeños. Sin embargo, el resto de los grupos y cúmulos de galaxias y galaxias individuales distantes sí se están distanciando del Grupo Local a determinadas velocidades por una fórmula denominada *Ley de Hubble* (llamada así en honor a ya sabes quién). En el capítulo 16 encontrarás más información sobre el movimiento de recesión.

El Grupo Local mide alrededor de 1 megapársec de ancho y se centra cerca de la Vía Láctea. Un *pársec* es una dimensión en el espacio equivalente a 3,26 años luz, y *mega* significa “millón”, por lo tanto, el Grupo Local tiene unos 3,26 millones de años luz, o unos 30 trillones de kilómetros de diámetro. Esta dimensión puede parecer grande, pero algunos expertos piensan que es incluso mayor. De todas formas, el Grupo Local es minúsculo comparado con la vasta extensión del universo observable.

Los cúmulos y supercúmulos de galaxias son mucho más grandes que el Grupo Local, que se pueden observar fácilmente a distancias de miles de millones de años luz en el espacio. No obstante, la mayoría de las galaxias del universo, como mínimo las que se ven fácilmente, se encuentran en grupos pequeños en los que hay docenas de miembros o cantidades menores, como el Grupo Local (que tiene unas treinta). Por lo tanto, parece que en lo que respecta a galaxias vecinas, estamos en la media.

Observa los cúmulos de galaxias

La mayoría de las galaxias pueden estar en grupos pequeños como el Grupo Local. Pero cuando los astrónomos estudian el cielo con los telescopios profesionales de los observatorios, las formaciones que destacan son los cúmulos de galaxias. Las más evidentes son los llamados *cúmulos ricos*, que tienen cientos e incluso miles de galaxias miembro, cada una con su complemento de miles de millones de estrellas.

El cúmulo de galaxias grande más cercano es el Cúmulo de Virgo, que se extiende por la constelación del mismo nombre y las constelaciones adyacentes. El cúmulo está a unos 54 millones de años luz de distancia y contiene más de mil galaxias.



Puedes observar algunas de las galaxias más grandes y brillantes del Cúmulo de Virgo con tu propio telescopio. Messier 87 ofrece una de las mejores vistas: una galaxia gigante esferoidal elíptica con un potente chorro de materia volando desde su centro en la proximidad de un agujero negro supermasivo. Puedes mirar M87 con equipos de aficionado, pero no verás el chorro de su centro a menos que seas un aficionado muy avanzado. La galaxia parece haberse tragado otras más pequeñas, razón que explicaría que sea tan grande. A algunas galaxias les gusta empezar siendo pequeñas y crecer con el tiempo. Messier 49 y Messier 84 son otras dos elípticas gigantes del Cúmulo de Virgo que puedes observar, y Messier 100 es una gran galaxia espiral del cúmulo.

Busca estas galaxias una noche oscura de primavera en el hemisferio norte. Utiliza un telescopio con control informático que centre los objetivos automáticamente. Si no confías en los ordenadores, asegúrate de tener un buen atlas de estrellas que muestre las galaxias.

Los cúmulos de galaxias existen tan lejos como nuestros telescopios pueden observar. Partiendo del límite de la tecnología actual a principios del siglo XXI, estimamos que hay unos 100 mil millones de galaxias en el universo observable, pero nadie las ha contado todas... como mínimo, nadie de nuestro planeta.

Supercúmulos, vacíos cósmicos y grandes murallas

Quizá pienses que un gran cúmulo de galaxias, de hasta 3 millones de años luz de ancho, sería lo máximo. Sin embargo, los estudios del cielo profundo indican que la mayor parte de todos los cúmulos de galaxias están agrupados en formas más grandes denominadas *supercúmulos*. Estos supercúmulos no se mantienen unidos por la gravedad, pero tampoco se han separado.

Aparentemente, tienen formas largas y filamentosas y formas planas, como de crep. Un supercúmulo puede contener una docena o cientos de cúmulos de galaxias, y puede tener una longitud de 100 o 200 millones de años luz.

Nosotros estamos en la parte más exterior del Supercúmulo Local, en ocasiones llamado Supercúmulo de Virgo, en cuyo centro se encuentra el cúmulo de galaxias de Virgo.

Los supercúmulos parecen ubicarse en los extremos de enormes y relativamente vacías regiones del universo llamadas *vacíos cósmicos*. El más cercano, el Vacío de Bootes, mide más de 300 millones de años luz de ancho. Muchas galaxias se encuentran en su periferia, pero no vemos muchas dentro del vacío.

El astrónomo Robert Kirshner descubrió el Vacío de Bootes. Sin embargo, cuando le felicitaron por su descubrimiento, se dice que humildemente respondió: “No es nada”.

Algunos de los mayores supercúmulos, o grupos de supercúmulos, se conocen como *grandes murallas*. La primera gran muralla descubierta tiene una longitud de unos 750 millones de años luz. En cambio, otras grandes murallas del universo lejano puede que sean todavía más largas. Según los datos con los que cuentan los astrónomos, no hay *grafitti* en las grandes murallas, pero tienen mucho que contarnos sobre el origen de grandes estructuras en el espacio y en la historia temprana del universo. ¡Ojalá pudiéramos comprender su idioma!

Ahora que ya conoces los tipos básicos de galaxias, ¿por qué no ayudar a los astrónomos a examinar las numerosas imágenes de galaxias del telescopio espacial *Hubble*? Como en otros proyectos de ciencia ciudadana que describo en el apartado final del capítulo 11, sólo necesitas tu cerebro y tu ordenador con acceso a internet.

Al apuntarte a Galaxy Zoo en www.galaxyzoo.org, añadirás tu esfuerzo al de más de un cuarto de millón de personas que han ayudado a los astrónomos profesionales a estudiar galaxias distantes capturadas en imágenes de un estudio del cielo hecho desde la tierra. Ese trabajo terminó, así que ahora los Zookeepers piden ayuda con las imágenes del *Hubble*.

Cuando te apuntas al Galaxy Zoo, estudias ejemplos de imágenes de galaxias y aprendes a clasificarlas. Después, puedes mirar con atención las imágenes del *Hubble* y ayudar a los astrónomos a descubrir cosas nuevas sobre el universo. El primer año de Galaxy Zoo, casi 150.000 voluntarios, llamados *Zooites*, proporcionaron más de 50 millones de clasificaciones de galaxias, y debían considerar si eran galaxias espirales o elípticas. Recientemente, los informes de los *Zooites* desestimaron la creencia anterior de que prácticamente todas las galaxias elípticas son rojas. Sus descubrimientos demostraron que alrededor de una tercera parte de todas las galaxias rojas son espirales.

Un voluntario de Galaxy Zoo, la profesora holandesa Hanny Van Arkel, descubrió un objeto en Leo Minor (la constelación del León Menor) que no se parecía a ningún otro tipo de galaxia conocido. Ya es legendaria en la historia de la astronomía por haber descubierto este objeto extraño llamado *Hanny's Voorwerp* (que, traducido del holandés, significa “el objeto de Hanny”). A esta señora, los astrónomos la pusieron en un pedestal. ¡Eso sí que es destacable!

¡Además, tendrás la ventaja de ver imágenes del telescopio *Hubble* gratis! Para visitar la mayoría de los grandes planetarios tienes que pagar, pero en el Galaxy Zoo, la entrada es gratuita.

Capítulo 13

Conoce en profundidad los agujeros negros y los cuasares

En este capítulo

- ▶ Examinarás los misterios de los agujeros negros
 - ▶ Obtendrás información sobre los cuasares
 - ▶ Identificarás varios tipos de núcleos activos de galaxia
-

Los agujeros negros y los cuasares son dos de las áreas más emocionantes (y en ocasiones desconcertantes) de la astronomía moderna. Por suerte para los astrónomos, ambos temas están relacionados. En este capítulo explico la conexión entre estos dos misterios y proporciono información sobre núcleos activos de galaxia, un grupo al que pertenecen los cuasares.

Puede que nunca veas un agujero negro a través de tu telescopio, pero te garantizo que, cuando le digas a la gente que eres astrónomo, soltarán: “¿Qué es un agujero negro?”. Ya he mencionado los agujeros negros en el capítulo 11, pero en éste te ofrezco toda la información.

Mantente a distancia de los agujeros negros

Un agujero negro es un objeto en el espacio cuya gravedad es tan potente que ni siquiera la luz puede escapar de su interior. Por ese motivo, los agujeros negros son invisibles.

Puedes caer dentro de un agujero negro, pero aunque quisieras no podrías salir de él (y realmente querías hacerlo). Ni siquiera puedes llamar por teléfono a casa, así que E. T. (en la película de 1982) tuvo suerte de aterrizar en California y no en un agujero negro.

Cualquier cosa que entre en un agujero negro necesita más energía de la que tendrá nunca para retroceder. El nombre formal para esa energía es *velocidad de escape*. Los ingenieros aeroespaciales utilizan este término para referirse a la velocidad a la que debe viajar un cohete o cualquier otro objeto para escapar de la gravedad de la Tierra y entrar en el espacio interplanetario. Los astrónomos emplean el término de forma similar para referirse a cualquier objeto del universo.

La velocidad de escape en la Tierra es de 11 kilómetros por segundo. Los objetos con una gravedad más débil tienen velocidades de escape más lentas (la velocidad de escape en Marte es sólo de 5 kilómetros por segundo) y los objetos con gravedad más potente tienen velocidades de escape superiores. En Júpiter, la velocidad de escape es de 61 kilómetros por segundo. Sin embargo, el campeón del universo en velocidad de escape es un agujero negro. La gravedad de un agujero negro es tan fuerte que su velocidad de escape es mayor que la velocidad de la luz (300.000 kilómetros por segundo). Nada, ni siquiera la luz, puede escapar de un agujero negro (tendrías que viajar más de prisa que la velocidad de la luz para escapar de un agujero negro, y nada, ni siquiera la luz, viaja más de prisa).

En 2011, un equipo de físicos publicó los resultados de un experimento en el que habrían encontrado indicios de que algunos neutrinos (un tipo de partícula subatómica que describo en el capítulo 10) viajaban más rápido que la velocidad de la luz. De ser correcto, este descubrimiento rebatiría parte de la física conocida, pero no lo es. Posteriormente, los expertos detectaron el error del experimento: había un conector eléctrico suelto. A los físicos no les faltaba un tornillo, pero la situación seguía siendo igual de mala.

Algunos científicos han propuesto una clase hipotética de partículas, llamadas *taquiones*, que pueden moverse más rápido que la luz. De hecho, si existen los taquiones, nunca pueden viajar a una velocidad *menor* que la de la luz. No obstante, la teoría de que existen estas partículas no está ampliamente aceptada y no se ha encontrado ninguno.

Elementos de un agujero negro

Los científicos detectan agujeros negros cuando ven gas girando a su alrededor que está demasiado caliente para encontrarse en condiciones normales; cuando hay chorros de partículas de energía elevada que escapan como si intentasen no caerse (los chorros no proceden del interior del agujero negro, sino del área circundante de ese agujero); y cuando las estrellas corren dibujando órbitas a velocidades fantásticas, como impulsadas por la fuerza gravitatoria de una enorme masa invisible (de hecho, es así).

Tal y como menciono en el capítulo 11, los científicos reconocen dos clases principales de agujeros negros:

- ✓ **Agujeros negros de masa estelar:** Estos agujeros negros tienen la masa de una estrella grande (alrededor de entre tres y cien veces más masiva que el Sol), y nacen tras la muerte de estas estrellas.
- ✓ **Agujeros negros supermasivos:** Estos monstruos son entre cientos de miles y más de veinte mil millones de veces más masivos que el Sol y existen en el centro de las galaxias. Pueden haberse originado a partir de las fusiones de muchas estrellas estrechamente unidas o en el colapso de enormes nubes de gas cuando se formaron las galaxias. Nadie lo sabe a ciencia cierta.

En 1999, los científicos descubrieron agujeros negros de masa intermedia, con masas de unos cientos hasta quizá diez mil veces la del Sol, pero no saben cómo se formaron esos agujeros negros.

¿Cómo es un agujero negro por dentro?

Un agujero negro está formado por tres partes:

- ✓ **El horizonte de sucesos:** El perímetro del agujero negro.
- ✓ **La singularidad:** El núcleo del agujero formado por la compresión definitiva de toda la materia de su interior.
- ✓ **Los objetos que caen:** Materia que cae del horizonte de sucesos hacia la singularidad.

En los siguientes apartados se describen estas partes con detalle.

El horizonte de sucesos

El horizonte de sucesos es una superficie esférica que define el agujero negro (consulta la figura 13-1). Después de que un objeto entre en el horizonte de sucesos, jamás podrá salir del agujero negro ni ser visible de nuevo para alguien del exterior. Y nada del exterior se puede ver desde dentro del horizonte.

El tamaño del horizonte de sucesos es proporcional a la masa del agujero negro. Si hacemos que el agujero negro sea el doble de masivo, su horizonte de sucesos será el doble de amplio. Si los científicos tuvieran una forma de comprimir la Tierra hasta que se convirtiera en un agujero negro (no la tenemos, y, si la tuviéramos, no te diría cómo se hace), nuestro planeta tendría un horizonte de sucesos de menos de unos 2 centímetros de diámetro.

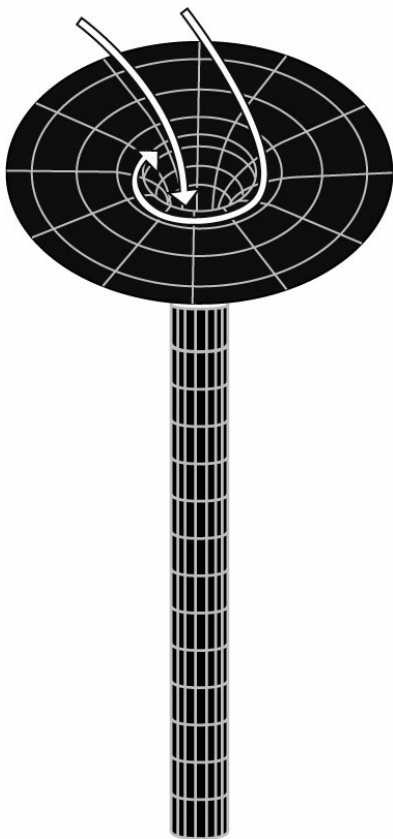


Figura 13-1:

Una concepción de agujero negro en el que las flechas representan la desafortunada materia que cae en su interior

En la tabla 13-1 te ofrezco una lista de tamaños de agujeros negros, por si te da por probar alguno.

Los dos agujeros negros más grandes de la tabla están en los centros de galaxias elípticas gigantes, las más brillantes y enormes de los cúmulos de galaxias respectivos en los que se encuentran. (Describo los cúmulos de galaxias en el capítulo 12.)

Tabla 13-1. Medidas de un agujero negro		
<i>Masa del agujero negro en masas solares</i>	<i>Diámetro del agujero negro en kilómetros</i>	<i>Comentario</i>
3	18	Agujero negro de masa estelar más pequeña.
10	60	Agujero negro de masa estelar típica.
100	600	Agujero negro de mayor masa estelar.
1.000	6.000	Agujero negro de masa intermedia.
4 millones	24 millones	Agujero negro supermasivo en el centro de la Vía Láctea.
6.300 millones	37.000 millones	Agujero negro supermasivo en M87 en el Cúmulo de Virgo.
21.000 millones	130.000 millones	Agujero negro supermasivo en NGC 4889 en el Cúmulo de Coma.

Según los datos con los que cuentan los científicos, no hay agujeros negros más pequeños que tres masas solares y 18 kilómetros de diámetro.

La singularidad y los objetos que caen

Cualquier cosa que cae dentro del horizonte de sucesos se mueve hacia la singularidad y se fusiona con ésta, que los científicos creen que es infinitamente densa. No sabemos qué leyes de la física se aplican para estas densidades tan elevadas, así que no podemos describir cómo son las condiciones. Tenemos, literalmente, un agujero negro en nuestro conocimiento.

Algunos matemáticos piensan que, en la singularidad, podría haber un *agujero de gusano*, un paso desde el agujero negro hasta otro universo. El concepto de agujero de gusano ha inspirado a autores y directores cinematográficos a

producir una gran cantidad de material de ciencia ficción sobre este tema, pero se limitan a buscar información sin saber si realmente existen. La mayoría de los expertos piensan que los agujeros de gusano no existen. Aunque existieran, los científicos no tienen forma de ver los agujeros de gusano dentro de los agujeros negros ni de profundizar en su conocimiento poco a poco.

Otra teoría afirma que, en el lugar en el que el hipotético agujero de gusano se conecta con otro universo, hay un *agujero blanco* (un lugar en el que una energía enorme inunda el otro universo, como un regalo de nuestro universo). Esta idea también parece errónea, pero aunque fuera correcta, tendríamos que viajar a otro universo (¡eso sí que es conseguir puntos por volar!) para ver uno.

Viajar a otro universo (si existe otro) es imposible. Sin embargo, la otra posibilidad es buscar agujeros blancos en nuestro universo, donde puede aparecer un agujero de gusano de otro universo. Los científicos no han encontrado nada así.

En alguna ocasión se ha sugerido que los cuasares brillantes podrían ser agujeros blancos. Hoy en día los astrónomos han conseguido explicaciones perfectamente correctas para los cuasares (tal y como explico en el apartado “El reto de definir un quasar”, más adelante en este capítulo). Por lo tanto, por lo que se refiere a mí, los astrónomos quedan exonerados de toda responsabilidad en este tema.

¿Cómo es la región que rodea a un agujero negro?

Esto es lo que observan los científicos en las regiones próximas a los agujeros negros:

1. **Materia gaseosa que cae hacia el agujero negro y que gira en una nube achatada llamada *disco de acreción*.**
2. **A medida que el gas del disco de acreción se acerca al agujero negro, es cada vez más denso y más caliente.** El gas se calienta porque la gravedad del agujero negro lo comprime, un proceso que se produce porque la fricción aumenta a medida que el gas es más denso. (El proceso es como lo que sucede en las neveras y aires acondicionados: cuando el gas se expande, se enfría, y cuando se comprime, se calienta.)
3. **A medida que el gas más caliente y más denso se acerca al agujero negro, brilla; es decir, el disco de acreción brilla.** La radiación del disco de acreción puede adoptar muchas formas, pero la más común es la de rayos X. Los telescopios de rayos X, como el que hay a bordo del gran satélite de la NASA que orbita alrededor de la Tierra,

el Observatorio Chandra, detecta rayos X y permite a los científicos señalar dónde se encuentran los agujeros negros. Puedes ver las imágenes de rayos X de Chandra en <http://chandra.harvard.edu>, la web del Centro de rayos X Chandra, y pulsa en el vínculo del álbum de fotos.

Por lo tanto, aunque no puedas ver un agujero negro a través de un telescopio, si tienes un telescopio de rayos X situado en el espacio, puedes detectar la radiación del disco de acreción de gas caliente que gira a su alrededor. Los rayos X no penetran en la atmósfera de la Tierra, así que el telescopio debe estar por encima de la atmósfera.



Puede que en el espacio existan agujeros negros desnudos, sin gas que gire hacia su interior. De ser así, los astrónomos no pueden verlos a menos que pasen por delante de una galaxia o una estrella que esté siendo observada. En ese caso, se puede deducir que el agujero negro existe porque se percibe el efecto en su gravedad en la apariencia del objeto de fondo. (Quizá veas que el objeto de fondo es brevemente más brillante, por ejemplo, como lo describo en el capítulo 11, cuando comento las microlentes gravitatorias.) Sin embargo, esta situación se produce en raras ocasiones. No te hagas ilusiones pensando que un agujero negro se va a mostrar para que tú puedas inspeccionarlo.

La deformación del espacio y el tiempo

Puedes imaginar que un agujero negro es un lugar en el que se deforma el tejido del espacio y el tiempo. Una *línea recta*, que se define en física como el camino que toma la luz que se mueve en el vacío, se curva cuando se acerca a un agujero negro. Cuando un objeto se acerca a un agujero negro, el tiempo en sí se comporta de una forma extraña, al menos tal como lo percibe un observador a una distancia prudencial.

Supongamos que mientras te mueves a una distancia prudencial, lanzas una sonda hacia un agujero negro desde tu nave espacial. Un gran panel eléctrico a un lado de la sonda muestra el tiempo que da un reloj en la sonda.

Desde la nave espacial, tú ves el reloj a través de un telescopio mientras la sonda cae hacia el agujero negro. Ves que el reloj va cada vez más despacio a medida que la sonda se acerca al agujero negro. De hecho, nunca ves cómo cae la sonda. A medida que la luz del panel eléctrico se desplaza al rojo debido a la potente gravedad del agujero negro, verás la sonda cada vez más roja por el

fenómeno conocido como *desplazamiento al rojo gravitatorio* (y no debido al efecto Doppler, que describo en el capítulo 11). La luz del panel cambia hacia longitudes de onda más largas, igual que el efecto Doppler hace que la luz de una estrella que se separa del observador parezca cambiar hacia longitudes de onda mayores. Al cabo de un tiempo, el desplazamiento al rojo gravitatorio desplaza la luz del panel eléctrico a luz infrarroja, algo que tus ojos no pueden detectar.

Ahora, piensa qué verías si viajaras a bordo de la sonda que cae (no lo pruebes en casa. Bueno, ni en casa ni en ninguna parte). Puedes ver el reloj de dentro de la sonda, y, a través de la ventana, la trayectoria que has seguido. Tú, el desventurado observador de a bordo, compruebas que el reloj funciona correctamente. No percibes que vaya más despacio de lo normal. Cuando miras desde la ventana a la nave nodriza y las estrellas, todas parecen realizar un desplazamiento al azul. Te entristece la idea de que nunca podrás volver a casa. En un tiempo récord, pasas a través de un límite invisible (el horizonte de sucesos) alrededor del agujero negro. A partir de ese momento, no volverás a ver nunca más qué hay fuera del horizonte de sucesos, ni nadie de fuera te verá a ti.

Quien esté en la nave nodriza no te verá entrar en el agujero negro; parecerá que cada vez te acerques más y más al agujero. Sin embargo, en la sonda que cae, tú sabes que has caído. O lo sabrías, de seguir vivo. En última instancia, la *fuerza de marea*, un efecto de la gravedad inmensa, hace pedazos cualquier cosa que caiga en un agujero negro; como mínimo, a través de una dimensión (la dirección hacia la singularidad), te hace trizas. Por si fuera poco, en las otras dos dimensiones espaciales, las fuerzas de marea te aplastan sin piedad.

Si entras en el agujero negro con los pies por delante, la fuerza de marea te estira (si todavía no te ha despedazado) hasta que llegas a ser tan alto como para jugar de pivot en la NBA. Pero, desde el ombligo hasta la espalda y de un lado de la cadera a otro, te aplastarán como se hace con el carbón que se convierte en diamante bajo una presión inmensa dentro de la Tierra, pero peor. Esta experiencia no es una joya...

Los agujeros negros pequeños o de masa estelar son la variedad más mortífera, igual que algunas arañas pequeñas son más venenosas que las grandes tarántulas. Si te caes en un agujero negro de masa estelar, te despedazan y te aplastan sin piedad antes de entrar, y no conseguirás ver antes de morir cómo desaparece el universo. Sin embargo, caer en un agujero negro supermasivo es una experiencia distinta. Llegas a caer dentro del horizonte de sucesos y ver cómo desaparece el universo antes de sufrir el destino fatal (o las fuerzas de marea fatales).

Teniendo en cuenta que los agujeros negros están por todo el universo y que tienen unas propiedades tan fascinantes y extrañas, entenderás por qué los científicos quieren estudiarlos, pero mantente a una distancia prudente.

Observa a los agujeros negros tragándose estrellas

La historia de una persona que puede ser hecha trizas por un agujero negro (tal y como describo en el apartado anterior) es hipotética. No obstante, la fuerza de marea de un agujero negro es una amenaza real que puede hacer pedazos prácticamente cualquier cosa. La excepción es que un agujero negro no destroza otro agujero negro, sino que los dos agujeros negros se fusionan y forman un único agujero negro más grande. Si una estrella se acerca demasiado a un agujero negro supermasivo realmente grande, con una masa de alrededor de cien millones de veces la masa del Sol o más, el agujero negro se la traga antes de destruirla. Por eso a veces vemos una estrella destruida por un agujero negro a una gran distancia y, a veces, no.

Los astrónomos estiman que, en una galaxia típica con un agujero negro supermasivo en el centro, una estrella se acerca lo suficiente para que la destruya un agujero negro y podamos verlo una vez cada cien siglos aproximadamente. Quizá tengas que observar fijamente una galaxia durante ese tiempo antes de presenciar una *disgregación por fuerzas de marea*, término que designa la muerte de una estrella provocada por un agujero negro. Como nadie dispone de tanto tiempo, los observadores utilizan telescopios robóticos equipados con grandes cámaras digitales para controlar miles de galaxias. Buscan fulguraciones brillantes (aumentos de brillo que pueden durar semanas o meses) que señalan las fragmentaciones por marea de las estrellas. Si controlas diez mil galaxias con tu equipo, quizá veas una fulguración al año.

En los últimos años, los astrónomos han detectado varias probables disgregaciones debidas a fuerzas de marea. Un buen ejemplo tuvo lugar el 31 de mayo de 2010, cuando un prototipo de telescopio para el Pan-STARRS (Panoramic Survey Telescope & Rapid Response System; Telescopio de estudio panorámico y sistema de respuesta rápida; <http://pan-starrs.ifa.hawaii.edu/public>), en el monte Haleakala (Hawái) detectó fulguraciones en curso en una galaxia tenue y sin nombre a unos 3.000 millones de años luz de la Tierra, en la constelación Draco (Dragón). Los observadores de Pan-STARRS hicieron mediciones precisas de las fulguraciones cuando el brillo aumentaba y descendía, hasta que se vio por última vez el 1 de setiembre del año siguiente. También obtuvieron observaciones realizadas con luz ultravioleta por el satélite Galaxy Evolution Explorer de la NASA (consulta su web en www.galex.caltech.edu). Al reunir toda esa información, los investigadores extrajeron las siguientes conclusiones:

- ✓ Un agujero negro central de unas tres millones de veces la masa del Sol hizo trizas una estrella que había empezado su vida como una

estrella parecida al Sol.

- ✓ La desventurada estrella se convirtió en una gigante roja (como hará el Sol algún día, consulta el capítulo 10) y, después, perdió sus capas más externas. Las capas que faltan, principalmente compuestas por hidrógeno, pudieron haber sido arrancadas antes por el agujero negro. Lo que quedaba de la estrella antes de que empezaran las fulguraciones era su denso núcleo de helio, con una masa de aproximadamente una cuarta parte de la masa del Sol.
- ✓ Durante la disgregación por fuerzas de marea, se perdió la mitad del núcleo de la estrella en el agujero negro, y la otra mitad fue arrojada a la galaxia circundante.

El agujero negro del centro de la Vía Láctea tiene una masa de 4 millones de soles, más que el agujero negro que provocó la disgregación de la estrella observada por el prototipo de telescopio Pan-STARRS. Por lo tanto, lo que sucedió en la galaxia sin nombre a 3.000 millones de años luz de la Tierra puede ocurrir en nuestro rincón del universo. De hecho, la disgregación por fuerzas de marea en la Vía Láctea se está produciendo justo en el momento en que este libro se está imprimiendo. Pero en este caso la víctima es una nebulosa. Los astrónomos que observan con un telescopio de 8 metros en el Observatorio Europeo Austral (www.eso.org/public) de Chile han estado observando la caída de una pequeña nebulosa hacia el agujero negro central de la Vía Láctea, Sagitario A*, desde 2008. La nebulosa tiene un tamaño de unas tres veces la distancia media del Sol a Plutón y su masa es igual a unas tres veces la masa de la Tierra. La fuerza de marea del agujero negro estira la nebulosa en la dirección en la que cae y la comprime en direcciones perpendiculares.

Los astrónomos que descubrieron la desafortunada nebulosa estimaron que su órbita la iba a llevar al punto de máximo acercamiento al agujero negro a mediados de 2013, cuando probablemente iba a ser disgregada, parte de la materia de la nebulosa debería caer en el disco de acreción del agujero negro e iba a producir lo que podrían ser fulguraciones brillantes.

El reto de definir un quasar

Los científicos definen un quasar, como mínimo, de dos formas:

- ✓ **La definición original:** *Quasar* es una abreviatura de *quasistellar radio*

source (radio fuente casi estelar, en inglés). Se trata de un objeto celeste que emite intensas ondas de radio pero que parece una estrella a través de un telescopio ordinario de luz visible (consulta la figura 13-2).

La definición original de *quasar* se ha quedado anticuada porque, como máximo, sólo el 10 % de todos los objetos que denominamos quasares encajan con esta definición. El 90 % restante no emite intensas ondas de radio. Los astrónomos los denominan quasares radiosilenciosos.

- ✓ **La definición actual:** *Núcleo activo de galaxia*, es decir, un agujero negro supermasivo con un disco de acreción alimentado por la materia que procede de la galaxia circundante.

La definición actual de *quasar* refleja el hecho de que, tras décadas de debatir sobre los quasares, los astrónomos han llegado a la conclusión de que están relacionados con agujeros negros gigantes en el centro de las galaxias. La materia que cae en el agujero negro libera una energía enorme, y las fuentes de energía observadas son lo que los astrónomos llaman quasares.



Cortesía de la NASA

Figura 13-2:

Un quasar brilla con diez billones de veces la potencia del Sol

El flujo de materia que entra en el agujero negro en un quasar puede variar. Cuando el flujo es amplio, el quasar brilla con una energía hasta diez billones de veces más que la que libera el Sol por segundo. En cambio, cuando el flujo es bajo, el quasar se apaga hasta que, posteriormente, recupera vida con una opípara comida.

¿Cómo se mide el tamaño de un quasar?

Todos los cuasares producen intensos rayos X, alrededor del 10 % produce fuertes ondas de radio y todos emiten luz ultravioleta, visible e infrarroja. Al cabo de los años, meses y semanas, todas las emisiones pueden variar de intensidad. A veces, varían incluso en períodos tan cortos como un día.

El hecho de que los cuasares suelen cambiar significativamente de brillo durante un único día indica a los científicos algo de una importancia crucial: un cuasar no debe ser más grande que un *día luz*, o la distancia que recorre la luz a través del vacío durante un día. Y un día luz equivale sólo a 26 mil millones de kilómetros, lo que significa que un cuasar, que produce tanta luz como diez billones de soles, o cien veces tanta luz como la Vía Láctea, no es mucho mayor que nuestro Sistema Solar, que es una diminuta parte de la galaxia.

Un cuasar mucho mayor que un día luz no puede fluctuar mucho en tan poco tiempo, igual que un elefante no puede mover las orejas tan rápido como un colibrí agita las alas.

Datos imprescindibles sobre los jets

Un chorro de datos. Los cuasares que son potentes fuentes de radio suelen emitir *jets*, o chorros largos y estrechos en los que la energía sale disparada de los cuasares en forma de electrones de alta velocidad y quizá otra materia en rápido movimiento. A menudo, estos chorros están llenos de grumos, con masas de materia amorfas que se mueven hacia afuera a lo largo de los chorros. A veces, estas masas parecen moverse a una velocidad superior a la de la luz. Este *movimiento superlumínico* es una ilusión relacionada con el hecho de que, en estos casos, los chorros apuntan casi exactamente a la Tierra; de hecho, la materia que hay en ellos se mueve casi a la velocidad de la luz, pero nunca más de prisa que ésta.



Puedes ver las mejores imágenes de chorros de cuasares obtenidas por radiotelescopios en la galería de imágenes del NRAO (Observatorio de Radioastronomía Nacional), en <http://images.nrao.edu>.

Explora los espectros de los cuasares

En muchos libros se afirma que un cuasar tiene en su espectro líneas muy anchas que corresponden al desplazamiento al rojo y al desplazamiento al azul de gas en movimiento turbulento dentro del cuasar de hasta 10.000 kilómetros por segundo. Esta afirmación no siempre es verdad. Los cuasares son de varios tipos

y algunos no tienen líneas espectrales anchas. (Consulta el capítulo 11 para obtener más información sobre líneas espectrales.)

Sin embargo, las líneas espectrales anchas son un rasgo importante de muchos cuasares y aportan una pista de la relación que mantienen con otros objetos, como los que describo en el apartado siguiente.

Núcleos activos de galaxia: bienvenidos a la familia del quasar

Durante años, después del descubrimiento de los cuasares, los astrónomos debatieron si éstos se encontraban en las galaxias o si estaban separados de ellas. Hoy en día sabemos que los cuasares siempre están en las galaxias porque la tecnología ha mejorado hasta tal punto que podemos lograr que una imagen telescópica muestre tanto un quasar como la galaxia que haya a su alrededor. Dicha galaxia recibe el nombre de *galaxia anfitriona* del quasar. (Antes, como un quasar puede ser cien veces más brillante que su galaxia anfitriona —o más— en las fotos tomadas con telescopios las galaxias anfitrionas se perdían en el resplandor de los cuasares invitados).



Las cámaras electrónicas, que pueden registrar una mayor gama de brillos en una única exposición que una película fotográfica, hicieron posible este descubrimiento.

Los cuasares son una forma extrema de lo que los astrónomos llaman ahora *núcleos activos de galaxia* (o AGN, por sus siglas en inglés). Este término designa el objeto central de una galaxia cuando el objeto tiene propiedades como las del quasar: una apariencia muy brillante, parecida a la de las estrellas, líneas espectrales muy anchas y cambios destacables de brillo.

Tipos de AGN

Los científicos utilizan los siguientes términos para describir los AGN:

- ✓ **Quasares radiointensos (“quasares originales”) y quasares radiosilenciosos (el 90 % o más de los quasares):** Estos dos tipos engloban clases de objetos parecidos, con y sin emisión intensa de radio. Se encuentran en galaxias espirales (consulta el capítulo 12 para obtener más información sobre las galaxias). No hay quasares visibles

en la Vía Láctea, pero hemos detectado un agujero negro de cuatro millones de masas solares en su centro, llamado Sagitario A*. He incluido ese agujero negro supermasivo en la tabla 13-1.

- ✓ **Objetos cuasiestelares (*Quasistellar objects*, QSO):** Algunos astrónomos incluyen en el grupo de QSO tanto los quasares radiointensos como los quasares radiosilenciosos.
- ✓ **OVV (*Optically violently variable quasars*):** Los *quasares violentamente variables en el óptico* son quasares con chorros que apuntan directamente hacia la Tierra. Estos quasares experimentan cambios de brillo aún más rápidos que los quasares normales y corrientes. Hay que imaginarlos como si fueran unos bomberos que intentan dirigir la manguera a una persona cuya ropa está ardiendo. La presión del agua puede ser inestable y quizá el agua se mueva un poco. El flujo desde la manguera puede parecer bastante estable para los espectadores que están a un lado, pero la persona que lo recibe desde el otro extremo siente todas las fluctuaciones cuando le golpea el agua. Los OVV son las mangueras de los quasares, son los que más salpican.
- ✓ **BLacs:** Término de la jerga astronómica que significa *BL Lacertae*. Como grupo, los BL Lacs son AGN que se parecen a BL Lacertae. Los BL Lacertae cambian su brillo; durante años, los científicos pensaron que se trataba de otra clase de estrella variable de la constelación Lacerta (parece una estrella en las fotografías del cielo). Posteriormente, la identificaron como fuente intensa de ondas de radio y, al final, determinaron que BL Lacertae era el núcleo activo de una galaxia anfitriona que se había perdido en su resplandor hasta que la mejora de la tecnología hizo posible que se fotografiara la galaxia.

A diferencia de la mayoría de los quasares, un BL Lacertae no tiene anchas líneas espectrales. Y sus ondas de radio están más altamente polarizadas que las de quasares radiointensos corrientes (excepto los quasares OVV, que puede que sólo sean casos extremos de BL Lacs). *Polarizado* significa que las ondas tienden a vibrar en una dirección concreta cuando viajan por el espacio. Cuando se mueven, las ondas no polarizadas vibran en todas las direcciones. Igual que en un partido no se sabe si el jugador es bueno hasta que lo vemos jugando en el campo, en el observatorio debes mirar la polarización para diferenciar los quasares radiointensos de los BL Lacs.

- ✓ **Blázares:** Este término engloba tanto a quasares OVV como a BL Lacs. Estos dos tipos de quasar tienen muchas similitudes. Los dos tienen un brillo muy variable, sus chorros apuntan directamente a la Tierra y ambos son radiointensos.

¿Realmente necesitamos un término que combine OVV y BL Lacs? No estoy seguro. Mi amigo, el doctor Hong-Yee Chiu se hizo famoso en la comunidad científica por acuñar el término *quasar*. Su amigo, el profesor Edward Spiegel, acuñó *blázar* unos años antes. Si descubres un nuevo tipo de objeto o escribes uno de los estudios principales sobre dicho objeto, puede que también tengas que bautizarlo. Añadir *ar* a tu nombre no está permitido; el término debería describir las propiedades científicas del objeto, no del astrónomo.

- ✓ **Radiogalaxias:** Estas galaxias tienen núcleos activos relativamente tenues pero que producen fuertes radioemisiones. La mayoría de las radiogalaxias más intensas son galaxias elípticas gigantes. A menudo tienen haces o chorros que transportan energía desde el AGN a enormes lóbulos de radioemisión, sin estrellas, mucho más lejos y mucho más grandes que la galaxia anfitriona. Normalmente, hay un lóbulo a un lado de la galaxia y un segundo lóbulo en el lado opuesto.
- ✓ **Galaxias Seyfert:** Estas galaxias espirales tienen un AGN en el centro. Un AGN Seyfert es como un quasar, ya que contiene líneas espectrales anchas y rápidos cambios de brillo. Puede ser tan brillante como la galaxia anfitriona, pero no cien veces más brillante, como un quasar, así que la anfitriona no se pierde en el brillo del núcleo AGN Seyfert.

El núcleo de una galaxia Seyfert no es un invitado exigente; se parece más a un candidato presidencial menor que visita una ciudad pequeña sin causar un gran revuelo. Los lugareños saben que el candidato está por allí, pero siguen sus rutinas diarias en lugar de acudir al centro en tropel para saludar al visitante. Carl Seyfert fue un astrónomo norteamericano pionero en el estudio de estas galaxias y de sus centros brillantes, mucho antes de que los astrónomos supieran que existían los agujeros negros.

¿Qué potencia tienen los AGN?

Todos los tipos de AGN tienen algo en común: los impulsa la energía

generada en la zona próxima a los agujeros negros supermasivos de sus centros.

Cerca del agujero negro supermasivo, las estrellas orbitan alrededor del centro de la galaxia anfitriona a velocidades inmensas, una circunstancia que permite a los astrónomos medir la masa del agujero negro. Con telescopios como el *Hubble*, los astrónomos pueden determinar la velocidad de las estrellas o, en ocasiones, de las nubes de gas que orbitan, midiendo los cambios en la luz provocados por el efecto Doppler de las estrellas o del gas (consulta el capítulo 11 para obtener más información sobre el efecto Doppler). Las velocidades indican la masa del objeto central. Las estrellas situadas a la misma distancia del centro de un agujero negro menos masivo orbitan a un ritmo inferior.

En un quasar o una radiogalaxia de tipo gigante elíptica, el agujero negro supermasivo suele alcanzar más de mil millones de masas solares. En las galaxias Seyfert, la masa del agujero negro suele ser de alrededor de un millón de masas solares.

El agujero negro hace posible que el AGN brille, pero sólo la materia que cae en el agujero negro alimenta el brillo. Para que brille un quasar puede ser necesario que cada año caiga materia con diez veces la masa del Sol en el agujero negro.

Si no cae material en el agujero negro, el AGN no se pone de manifiesto produciendo brillo, emisiones de radio, chorros a altas velocidades o intensos rayos X. Se parecen a los niños que dependen de la comida en la escuela para obtener energía con la que rendir en clase, ya que los agujeros negros sólo brillan cuando cae materia en su interior a una velocidad suficiente. Los agujeros negros supermasivos pueden estar acechando en el centro de la mayoría de las galaxias, pero, en general, no reciben materia que les alimente, así que los astrónomos ven quasares y otros tipos de AGN sólo en una pequeña fracción de galaxias.

Propuesta de modelo unificado de núcleos activos de galaxia

El *Modelo unificado de núcleos activos de galaxia* es una teoría en la que se propone que muchos tipos de AGN son, en realidad, el mismo tipo de objeto, que parece distinto cuando se ve desde diferentes ángulos. Según esta teoría, cuando miramos un AGN desde distintas direcciones respecto a sus discos de acreción y sus *jets* o chorros, parece distinto, como un hombre parece distinto al verlo de cara o de perfil. Todo el mundo tiene un lado bueno; y, si no, que se lo pregunten a Julio Iglesias, que sólo se deja fotografiar el perfil derecho. La teoría también propone que los agujeros negros absorben materia a distintas velocidades, por tanto algunos AGN (que consiguen más materia por segundo que otros) son más brillantes que los demás por esa razón. Todos los años, docenas de astrónomos escriben artículos sobre el modelo unificado; algunos encuentran pruebas a favor

de la teoría y otros, en contra.

Creo que las pruebas señalan diferencias reales entre los distintos tipos de AGN, pero también creo que tienen muchos puntos en común. Los astrónomos necesitan más información antes de que nos pongamos de acuerdo sobre el modelo unificado o cualquier otra teoría relativa a los AGN. Mientras tanto, ¿tú qué crees? Con tus impuestos se financia gran parte de esta investigación que se realiza prácticamente en todos los países desarrollados, así que tienes derecho a opinar.

¿Qué fue primero: el agujero negro o la galaxia?

Un descubrimiento importante alegró el día a todos los fans de los cuasares. Los expertos encontraron una sencilla relación matemática entre un agujero negro supermasivo y la galaxia que lo rodea. La región central de la mayoría de las galaxias recibe el nombre de *bulbo*. Incluso una galaxia espiral relativamente plana puede tener un bulbo central grande, mediano o pequeño. Se considera que una galaxia elíptica es todo bulbo. Los astrónomos han descubierto que la masa de un agujero negro en el centro de un bulbo es siempre casi una quinta parte del 1 % de la masa del bulbo. Es como si cada galaxia tuviera que pagar un impuesto del 0,2 % a su agujero negro (me encantaría que Hacienda sólo se quedara con ese porcentaje de mis ingresos).

Esta inesperada propiedad de los agujeros negros y las galaxias debe de estar relacionada con cómo se forman, pero los astrónomos no están seguros de cómo se produce dicha formación. ¿Una galaxia grande se forma alrededor de un agujero negro grande? ¿O los agujeros negros grandes se forman en galaxias grandes y con bulbos? Actualmente, los astrónomos debaten este tema en lo que yo llamo “la batalla de los bulbos”.

Parte IV

Reflexiones sobre este increíble universo

The 5th Wave

Rich Tennant



En esta parte...

Lee la parte IV cuando quieras distraerte o despertar a tu cerebro con ideas y posibilidades que te hagan reflexionar. Sírrete una copa de vino, ponte cómodo y lee los textos sobre la búsqueda de vida inteligente (SETI). ¿Tienen los científicos alguna prueba de que haya seres verdes por ahí fuera? Descubre qué son la materia oscura, la energía oscura y la antimateria (sí, la antimateria existe en el mundo real, no sólo en la ciencia ficción). Cuando te sientas preparado, reflexiona sobre el universo: cómo empezó, qué forma tiene y cuál es su futuro.

Capítulo 14

¿Hay alguien ahí? El proyecto SETI y planetas de otros soles

En este capítulo

- ▶ Comprenderás la ecuación de Drake
 - ▶ Explorarás los proyectos SETI y sabrás cómo participar en ellos
 - ▶ Cazarás planetas extrasolares y verás cómo son
-

El universo es enorme y variado. Pero ¿compartimos estos reinos estelares con otros seres inteligentes? Cualquiera que siga *Star Trek* o vaya al cine con frecuencia ya conoce la respuesta de Hollywood: el cosmos está atestado de alienígenas (y muchos han conseguido hablar nuestro idioma casi sin acento).

Pero ¿qué dicen los científicos? ¿Realmente hay extraterrestres allí arriba? La mayoría de los investigadores creen que la respuesta es sí. Algunos incluso buscan pruebas de ello. Su búsqueda se denomina *búsqueda de inteligencia extraterrestre*, que se conoce por sus siglas en inglés, SETI. (Otros científicos se proponen buscar huellas de vida primitiva en Marte o en alguna de las lunas del Sistema Solar exterior, pero la búsqueda de inteligencia extraterrestre intenta encontrar civilizaciones avanzadas que sean capaces de lanzar emisiones al espacio.)

¿Por qué muchos científicos son optimistas respecto a la posible existencia de alienígenas? En general, este optimismo procede del hecho de que nuestro lugar en el cosmos no es extraordinario. El Sol puede ser una estrella importante para nosotros, pero es un mero actor secundario dentro del conjunto del universo. La Vía Láctea alberga diez mil millones de estrellas similares. Si esta cifra no te impresiona, fíjate en que más de cien mil millones de *otras* galaxias están al alcance de nuestros telescopios. En definitiva, hay más estrellas similares al Sol esparcidas por el universo visible que briznas de hierba en la Tierra. Suponer que

nuestra brizna de hierba es el único lugar en el que ocurre algo interesante es (por decirlo suavemente) un poco atrevido. Por doloroso que pueda ser para nuestro amor propio, quizá la Tierra no sea el ombligo intelectual del universo.

¿Cómo podemos los terrícolas encontrar a nuestros hermanos inteligentes? No podemos ir a visitar sus posibles hogares. A pesar de que sea un elemento esencial y cotidiano de la ciencia ficción, llegar con una nave espacial hasta sistemas de estrellas distantes es bastante difícil. La velocidad de los cohetes de la Tierra, unos impresionantes 48.280 kilómetros por hora, es menos espectacular cuando piensas que esas naves tardarían mil siglos en llegar a Alfa Centauri, la parada estelar más cercana en el viaje por el universo. Los cohetes rápidos tardan menos, pero consumen más energía, mucha más.

Han pasado más de cincuenta años desde que el astrónomo Frank Drake hiciera los primeros esfuerzos para entrar en contacto con alienígenas. Hasta la fecha, nuestros telescopios no han conseguido ni una sola señal extraterrestre confirmada. De todas formas, ten en cuenta que, hasta ahora, la búsqueda ha sido limitada. A medida que la tecnología (y la financiación, espero) siga mejorando, aumentarán nuestras posibilidades de éxito. Algún día no muy lejano, puede que los astrónomos empiecen a dar vueltas a una señal que proceda de las frías profundidades del espacio. Quizá esa señal nos dé interesantes lecciones sobre el significado de la vida o, como mínimo, nos explique todas las leyes de la física. Aunque lo que sin duda nos mostrará es que no somos los únicos seres de la galaxia.

El uso de la ecuación de Drake para debatir el proyecto SETI

A pesar de que los terrícolas no puedan visitar civilizaciones distantes, los astrónomos intentan encontrar pruebas de la existencia de alienígenas técnicamente sofisticados escuchando sus comunicaciones por radio. En 1960, el astrónomo Frank Drake intentó escuchar comunicaciones cósmicas utilizando un radiotelescopio de 25 metros (de diámetro) en Virginia Occidental. Si has visto la película *Contact*, sabes que un radiotelescopio se parece a una antena parabólica de jardín tremendamente voluminosa (consulta la figura 14-1). Drake conectó una antena a un receptor nuevo y sensible que funcionaba a 1.420 megahercios (ubicado en lo que se llama *región de microondas del espectro de radio*) y, a continuación, apuntó el telescopio a un par de estrellas similares al Sol.



Sumérgete en la ecuación de Drake

Los científicos suelen utilizar la hábil fórmula de Frank Drake como base para sus debates sobre la búsqueda de inteligencia extraterrestre y las probabilidades de que los humanos lleguen a contactar con vida inteligente extraterrestre. La ecuación es sencilla y no requiere más matemáticas que las que aprendiste en el instituto.

La ecuación calcula N , el número de civilizaciones activas que emiten ondas de radio en la Vía Láctea. Igual que ocurre con la Biblia, existen varias versiones de la ecuación de Drake, pero ésta es la formulación habitual, con pelos y señales y en toda su gloria:

$$N = R^* f_p n_e f_i f_c L$$

✓ R^* es la velocidad a la que las estrellas que viven lo suficiente como para albergar planetas habitables se forman en la galaxia. Como la Vía Láctea tiene aproximadamente 300 mil millones de estrellas y unos 13 mil millones de años, este número es de alrededor de dos al año.

✓ f_p es la fracción de estrellas buenas (es decir, estrellas que pueden tener planetas habitables) que realmente *tienen* planetas. Los astrónomos no conocen este número, pero las recientes búsquedas de planetas indican que es de, como mínimo, el 50 %, y quizá más.

✓ n_e es el número de planetas por Sistema Solar que puede incubar vida. En nuestro Sistema Solar, el número es como mínimo de uno (la Tierra) y podría ser más si se cuentan Marte y algunas de las lunas de Júpiter y Saturno. Pero, en otro sistema, ¿quién sabe? Una suposición típica es uno.

✓ f_i es la fracción de planetas habitables que realmente desarrollan vida. Podemos suponer razonablemente que es el caso de muchos de ellos.

✓ f_i es la fracción de planetas con vida que desarrollan vida inteligente. Este número es objeto de controversia, ya que la inteligencia puede ser un accidente excepcional de la evolución biológica.

✓ f_c corresponde a la fracción de sociedades inteligentes que inventan tecnología (en particular, radiotransmisores o láseres). Probablemente, la mayoría de estas sociedades.

✓ L , el último término, es el tiempo de vida de las sociedades que utilizan

tecnología. Este término es una cuestión sociológica, no de astronomía, así que tu suposición es tan buena como la del autor (o quizá mejor).

El número N depende del valor que asignes a los distintos términos. Los pesimistas piensan que N sólo puede ser 1 (estamos solos en la Vía Láctea). Carl Sagan se imaginó que había unos cuantos millones. Y ¿qué dice Drake? En una ocasión supuso “alrededor de diez mil”. Hay que buscar la moderación en todas las cosas. Puedes visitar la web www.seti.org para jugar con la ecuación de Drake entrando tus propios valores y calculando la N .



Cortesía de Seth Shostak

Figura 14-1:

Con el tipo de receptor adecuado en un radiotelescopio, los astrónomos pueden escuchar señales de otras sociedades

Drake no oyó alienígenas durante su *Proyecto Ozma*, pero provocó mucho entusiasmo entre la comunidad científica. Un año más tarde, en 1961, se celebró la primera gran conferencia sobre la búsqueda de inteligencia extraterrestre. Drake intentó organizar la reunión condensando todos los puntos desconocidos de la investigación en una única ecuación, que ahora se conoce como *ecuación de Drake* (para aquellos a los que les interesan las matemáticas, incluyo esta simple fórmula en el recuadro gris “Sumérgete en la ecuación de Drake”, en la página anterior). Su lógica es sencilla. La idea es estimar N , el número de civilizaciones de nuestra galaxia que emiten ondas de radio en la actualidad. N depende claramente del número de estrellas adecuadas de la galaxia, multiplicado por la fracción de ellos que tiene planetas, multiplicado por el número de... bueno, puedes leer más información sobre este tema en el recuadro.

La ecuación de Drake es realmente seductora y quizá quieras impresionar a los desconocidos recitándola de carrerilla en alguna cena. Sin embargo, a pesar de que los científicos puedan saber o suponer los valores de los primeros términos de la ecuación (como la velocidad a la que se forman las estrellas que son capaces de albergar planetas y la fracción de estas estrellas que realmente tienen planetas), no conocemos realmente detalles como la fracción de planetas que albergan vida y que pueden desarrollar vida inteligente o el tiempo de vida de las sociedades tecnológicas. Por lo tanto, la ecuación de Drake sigue sin respuesta. Pero es una forma fantástica de organizar el debate sobre el proyecto de búsqueda de inteligencia extraterrestre.

Proyectos SETI: escucha a E. T.

La mayoría de los modernos proyectos SETI siguen el camino de Frank Drake. Es decir, utilizan grandes radiotelescopios para intentar escuchar señales de civilizaciones extraterrestres.

¿Por qué utilizan la radio? Las ondas de radio se mueven a la velocidad de la luz y perforan con facilidad las nubes de gas y polvo que llenan el espacio entre las estrellas. Además, los receptores de señales de radio pueden ser bastante sensibles. La cantidad de energía necesaria para enviar una señal detectable de una estrella a otra (suponiendo que los alienígenas utilizaran una antena de transmisión de, como mínimo, varios metros de tamaño) no es más de lo que emite tu televisión local.

Suponiendo que los investigadores reciban un pitido interestelar, ¿cómo lo

reconocen? No intentan recibir el valor de π (sí, el archisabido 3,1416) o cualquier otro mensaje sencillo que demuestre que los alienígenas han aprobado la ESO. Los investigadores SETI buscan señales de banda estrecha.

Las señales de banda estrecha se dan en una zona estrecha del dial de radio. Sólo un transmisor de radio emite emisiones de banda estrecha. Quasares, púlsares e incluso el frío gas de hidrógeno generan ondas de radio, pero su estática natural las dispersa en frecuencia, y salpica todo el espectro de radio. Las señales de banda estrecha son la marca de los transmisores. Y los transmisores son la marca de la inteligencia. Hace falta inteligencia (además de hierro para soldar) para construir un transmisor.

Otro criterio en el que insisten los investigadores de proyectos SETI antes de poder afirmar que han recibido una verdadera emisión extraterrestre es que la señal persista. Es decir, que cada vez que apunten sus telescopios a la fuente de la señal, la encuentran. Si sus aparatos medidores sólo la registran una vez, la señal es imposible de confirmar. Puede que la cuenten como una interferencia de los satélites de telecomunicaciones, un error de *software* o una pesada y ambiciosa broma de unos estudiantes.

En los siguientes apartados, comento varios proyectos SETI y te explico cómo puedes ayudarles en esta búsqueda.

El vuelo del proyecto Phoenix

El experimento SETI más sensible que han finalizado los investigadores hasta la fecha es el proyecto Phoenix, realizado por el SETI Institute en Mountain View (California) entre 1995 y 2004. Este proyecto fue la continuación de un programa SETI de la NASA que el congreso estadounidense ordenó detener en 1993. Desde entonces, los esfuerzos en materia de SETI en Estados Unidos han recibido financiación privada.

El proyecto Phoenix probó sus observaciones en estrellas concretas, en lo que se conoce en el ámbito SETI como *búsqueda con objetivo*. Otros proyectos utilizan telescopios para barrer grandes fragmentos del cielo. Evidentemente, esos amplios barridos permiten que los científicos examinen más áreas del cielo pero, al concentrarse en estrellas próximas y similares al Sol, una búsqueda con objetivo logra una sensibilidad mucho mayor. Es decir, puede encontrar señales de radio más débiles y lejanas. Los investigadores llevaron a cabo el proyecto Phoenix usando varios telescopios distintos, entre los que se incluye el radiotelescopio de casi 305 metros (de diámetro) de Arecibo (Puerto Rico), la madre de todas las antenas (consulta la figura 14-2).

Phoenix (y muchos otros experimentos SETI) buscaban señales en la región de microondas del dial de la radio. Además de su capacidad para hacer que las

sobras del día anterior sean comestibles, las microondas son el “canal de llamada” que prefieren las personas del SETI, por dos razones:

- ✓ El universo es bastante silencioso en las frecuencias de microondas, así que uno encuentra menos estática natural, un hecho que también conoce E. T.
- ✓ Una señal natural generada por el gas hidrógeno se produce a 1.420 MHz, una frecuencia situada en la región de microondas. Como el hidrógeno es, con diferencia, el elemento más abundante del cosmos, todo radioastrónomo extraterrestre debería ser consciente de este marcador natural (y puede sentirse tentado de llamar nuestra atención o la de cualquier otra civilización del espacio) enviando una señal cerca de su frecuencia en el dial.

Sin embargo, si nos atenemos a los hechos, los científicos no saben con exactitud dónde podrían sintonizar sus transmisores los extraterrestres.

Para cubrir el máximo de dial posible, el proyecto Phoenix controlaba millones de canales al mismo tiempo (con el tiempo, miles de millones para cada estrella objetivo).



Cortesía de Seth Shostak

Figura 14-2:

Vista del enorme radiotelescopio *Arecibo* de Puerto Rico que participó en el proyecto Phoenix

Cuando el proyecto Phoenix detuvo su programa de observación durante la primavera de 2004, había examinado con atención unos setecientos cincuenta sistemas estelares similares al Sol. No encontraron señales persistentes ni claramente extraterrestres. De todas formas, este proyecto enseñó a los investigadores cómo construir un instrumento que, al cabo de unas cuantas décadas, pueda controlar más de un millón de sistemas estelares. Gracias a aquellas lecciones, se ha construido el ATA (Grupo de Telescopios Allen). Consulta el siguiente apartado para obtener más información al respecto.

El estudio del espacio con otros proyectos SETI

Hoy en día existen varios programas SETI en astronomía:

- ✓ El SERENDIP (Search for Extraterrestrial Radio Emissions from Nearby Developed Populations; Búsqueda de radioemisiones extraterrestres de poblaciones inteligentes desarrolladas y próximas),

que lleva a cabo la Universidad de California (Berkeley), utiliza el telescopio de Arecibo en modo *piggyback* (lo que significa que se deja el telescopio quieto y se observa todo lo que pasa por delante), recopilando datos de cualquier dirección a la que apunte el telescopio. De esta forma, los investigadores pueden utilizar el telescopio para SETI mientras otros astrónomos están estudiando pulsares, cuasares u otros objetos naturales. Este enfoque, aparentemente sin objetivo, aporta excelentes resultados en el tiempo de observación: SERENDIP recopila datos prácticamente todos los días, durante las veinticuatro horas.

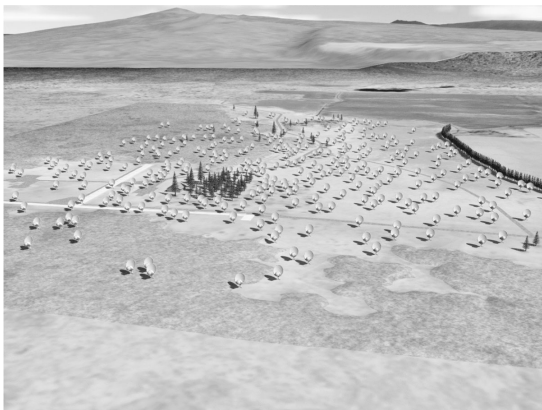
Puedes leer las últimas noticias sobre SERENDIP en la web <http://seti.berkeley.edu/SERENDIP>.

- ✓ *Southern SERENDIP* es un proyecto gestionado por el SETI Australia Centre de la University of Western Sydney. El centro utiliza un radiotelescopio de 64 metros en Parkes, en el país de las ovejas y los mosquitos, a varios cientos de kilómetros del oeste de Sídney. La versión austral también es un experimento *piggyback* en el sentido de que otros astrónomos que no son los investigadores SETI controlan a qué objeto apunta la antena. Visita su web <http://seti.uws.edu.au/SSERENDIP-1.html>.
- ✓ El SETI Institute y la Universidad de California (Berkeley) están construyendo un nuevo radiotelescopio llamado ATA (Grupo de Telescopios Allen) diseñado para buscar inteligencia extraterrestre de forma eficiente. El telescopio estará formado por 350 antenas pequeñas (de 1,83 metros de diámetro) repartidas a lo largo de unos 800 metros en toda California (consulta la figura 14-3). En el momento de cerrar esta edición, en 2013, había 42 antenas en funcionamiento y ya se estaban realizando observaciones.

Las antenas del Allen Telescope Array son como las integrantes de un equipo de natación sincronizada: todas apuntan en la misma dirección. Sin embargo, a diferencia de muchos instrumentos de búsqueda de inteligencia extraterrestre del pasado, las antenas pueden observar varios sistemas estelares candidatos de forma simultánea. Evidentemente, esta característica acelera la búsqueda, igual que el hecho de que pueda funcionar 24 horas, siete días a la semana para buscar inteligencia extraterrestre. Sin duda, el Allen Telescope Array es el proyecto de telescopios para la búsqueda de inteligencia extraterrestre más ambicioso que ha existido hasta ahora. Puedes seguir el progreso del proyecto en el sitio web de la

ATA, www.seti.org/ata.

Además de estos proyectos de búsqueda de inteligencia extraterrestre, cada vez están apareciendo más iniciativas llamadas *experimentos ópticos de SETI*. En lugar de cazar transmisiones de radio, los proyectos ópticos buscan destellos breves pero intensos de luz láser que lleguen enviados por una sociedad que quiera contactar con nosotros. Los experimentos ópticos de SETI confían en los telescopios convencionales de espejos y lentes, equipados con electrónica de alta velocidad, para percibir y registrar cualquier explosión de luz extraterrestre. Actualmente realizan experimentos ópticos de búsqueda de inteligencia extraterrestre en la Universidad de California (Berkeley), en la Universidad de Harvard y en otros lugares.



Cortesía del SETI Institute

Figura 14-3:

Una vez finalizado, el ATA estará formado por 350 antenas repartidas a lo largo de 800 metros en California

Al principio, los experimentos ópticos de búsqueda de inteligencia extraterrestre no se tomaban muy en serio. Algunos expertos creían que la búsqueda de pulsos láser extraterrestres no era útil. Sin embargo, un científico inglés, Stuart Kingsley, mantuvo la fe y realizó observaciones durante años en el

Columbus Optical SETI Observatory de Ohio y, recientemente, en Bournemouth (Reino Unido).

A pesar de que una señal de luz de un mundo distante pueda verse oscurecida por la luz del sol de ese planeta, es fácil concentrar luz láser con un espejo. Ese transmisor óptico puede brillar más que una estrella (¡durante la milmillonésima parte de segundo que dura el destello!). Por lo tanto, tiene sentido buscar mensajes enviados de esta forma, así que los investigadores de experimentos ópticos de búsqueda de inteligencia extraterrestre ya han preparado sus telescopios con algunos miles de estrellas próximas. Hasta la fecha, no ha habido suerte.



El SETI Institute ofrece una *newsletter* gratuita. Si quieres apoyar la búsqueda de emisiones extraterrestres, puedes hacerte socio. Consulta su web www.seti.org. Para descargarte el último programa de radio del instituto sobre búsqueda de inteligencia extraterrestre y vida en el espacio, visita <http://radio.seti.org>.

Objetivos interesantes para la búsqueda de inteligencia extraterrestre

El satélite *Kepler* de la NASA, del que hablaré más adelante en este capítulo, está encontrando cientos de planetas alrededor de estrellas más allá del Sol. Algunos de estos exoplanetas tienen casi el tamaño de la Tierra y están en zonas habitables alrededor de sus estrellas o cerca de estas zonas, donde el agua puede permanecer en estado líquido en una superficie planetaria. Algunos expertos afirman que, si hay agua, puede existir vida. Si hay vida en algún planeta, quizá se haya producido una evolución que haya dado lugar a vida inteligente, y esa vida inteligente puede estar interesada en enviar señales láser o de radio para contactar con los habitantes de otros mundos. Ésa es la teoría, y los proyectos de búsqueda de inteligencia extraterrestre como el ATA se centrarán en algunos de esos planetas, por si E. T. nos llama desde su casa.

¡Los proyectos SETI te quieren!



Existen dos grandes proyectos SETI que buscan tu colaboración para encontrar señales de radio extraterrestres. El primer programa sólo usará tu ordenador cuando esté en reposo. En cambio el segundo proyecto hará que tu cerebro se ponga a trabajar para ayudarles a reconocer patrones sospechosos en datos de señales de radio que se envían directamente desde el telescopio.

SETI@home es un proyecto que divide un enorme flujo de datos procedente de los proyectos de búsqueda continua de inteligencia extraterrestre entre una gran cantidad de ordenadores de personas como tú. Si te unes al proyecto SETI@home, tu ordenador procesará automáticamente un pequeño fragmento de los datos de búsqueda de inteligencia extraterrestre cuando el ordenador esté inactivo pero encendido.

Para unirse a la búsqueda, visita la web <http://setiathome.ssl.berkeley.edu> y sigue sus instrucciones para descargarte el *software* gratuitamente. A partir de ese momento, cuando no utilices el ordenador, a veces se encenderá con un elegante salvapantallas de SETI. Ésa es la señal de que el ordenador está procesando datos de observaciones. De vez en cuando, el ordenador se conectará a un servidor de Berkeley (California) y enviará los resultados del proceso.

En los diez primeros años de funcionamiento de SETI@home, más de cinco millones de personas de todo el mundo se prestaron voluntarias para ofrecer el tiempo de reposo de su ordenador. Cuando los ordenadores enviaban información a las oficinas centrales del proyecto, a veces revelaban que se había encontrado una señal sospechosa. Los científicos de SETI examinaban los informes y, hasta la fecha, los han rechazado todos, lo que significa que no había pruebas de E. T. Sin embargo, puede que E. T. llame algún día, y quizá tu ordenador identifique esa llamada. ¡Me gusta cómo suena!

Cuando te apuntas al proyecto SETILIVE, el ATA envía datos a tu ordenador. Tú tendrás que examinarlos para detectar cualquier elemento sospechoso (un tutorial te indicará qué buscar). Después, enviarás tu informe. Por favor, no te ofendas, pero si avisas de que has encontrado a E. T., los científicos no se pondrán en pie y gritarán victoria antes de informar a la sede central de las Naciones Unidas. El proyecto SETI envía las mismas señales a otros voluntarios. Si los informes independientes de varios voluntarios apuntan a una señal concreta, los científicos del SETI la revisan. Ellos reciben demasiados datos y no pueden verlos todos. Por eso, los voluntarios son el comité de análisis. Visita su web en <http://setilive.org>.

Descubre mundos alienígenas

Los *exoplanetas* o planetas extrasolares orbitan alrededor de estrellas que no son nuestro Sol. En el pasado, los astrónomos no sabían si existían exoplanetas, pero desde la década de 1990 han descubierto muchos. Actualmente, los planetas extrasolares conocidos son muchos más que los ocho de nuestro Sistema Solar.

En este apartado describo cómo, con el tiempo, han cambiado las ideas sobre los exoplanetas y las formas en las que los encuentran los astrónomos. Te presento los principales tipos de exoplanetas, con ejemplos típicos. Y describo la astrobiología, la ciencia que investiga la posibilidad de que exista vida en alguno de esos mundos extraterrestres.

Diversas ideas sobre los exoplanetas

Durante siglos, los científicos y otros estudiosos se preguntaron si existían planetas alrededor de otras estrellas. Hasta tiempos muy recientes no se han conseguido pruebas de su existencia, por eso, hasta ese momento, pocos creían en los exoplanetas. Entre los que creían, el más famoso fue Giordano Bruno, un filósofo del Renacimiento italiano. Bruno afirmaba que hay estrellas en el cielo parecidas al Sol mucho antes de que se conociera este dato. Su teoría afirmaba que las estrellas también tienen planetas habitados, como la Tierra. Por decirlo finamente, sus ideas gozaron de poca popularidad. Bruno fue condenado a morir en la hoguera por hereje en el año 1600.

Mucho después de la época de Giordano Bruno, y durante la mayor parte del siglo XX, los astrónomos dudaban de que existieran muchos exoplanetas (o de que existiera alguno). Pensaban que los planetas de nuestro Sistema Solar debieron formarse tras el paso de una estrella que casi colisionó con el Sol. Se supone que la fuerza de marea ejercida por dicha estrella arrancó gas del Sol, y parte de ese gas se condensó y formó los planetas. Sin embargo, es increíblemente raro que se produzca un encuentro estelar próximo de este tipo con estrellas que están a años luz. De haber alguna colisión, si es que hubiera alguna, provocaría que hubiera algún exoplaneta. Las ideas cambiaron en la década de 1990, cuando el telescopio *Hubble* y otros instrumentos revelaron que muchas estrellas recién nacidas (los objetos estelares jóvenes que describo en el capítulo 11) están rodeadas por nubes con forma de disco de gas y polvo. Las condiciones de esas nubes son adecuadas para la formación de planetas. Es decir, el nacimiento de un planeta es una consecuencia de la formación común de estrellas, no de colisiones excepcionales. No obstante, los astrónomos necesitaban descubrir algunos exoplanetas y ver si son realmente tan comunes como da a entender esta teoría.

Con el paso del tiempo, algunos astrónomos afirmaron que habían encontrado exoplanetas. Sin embargo, sus informes fueron refutados o no pudieron ser confirmados. Finalmente, en 1992 se logró el éxito, cuando los radioastrónomos detectaron dos planetas de un pulsar. (Describo los púlsares en el capítulo 11.) Posteriormente, en 1995, los investigadores descubrieron el primer exoplaneta que orbitaba alrededor de una estrella normal. Muchos más astrónomos se unieron a la caza con instrumentos más nuevos y potentes. En marzo de 2013, los investigadores habían encontrado 861 exoplanetas y más de 2.000 posibles planetas que debían confirmarse. El satélite Kepler de la NASA mostraba cada vez más exoplanetas y un experto del proyecto Kepler estimó que en nuestra galaxia podía haber 100 mil millones de planetas.

Cómo encontrar exoplanetas

Los exoplanetas son mucho más tenues que las estrellas alrededor de las que describen órbitas, por eso casi siempre se pierden en el brillo de su estrella. Esto hace que los astrónomos no busquen directamente los planetas, sino efectos en la apariencia de las estrellas que revelen la existencia de sus planetas ocultos.

Éstas son las pistas más importantes que indican la existencia de un exoplaneta:

- ✓ **Un vaivén constante en el movimiento de una estrella:** Cuando los astrónomos encuentran una estrella que se bambolea repetidamente adelante y atrás, y cada vaivén dura tanto como el anterior, llegan a la conclusión de que tiene un compañero tenue. La gravedad hace que el compañero oculto y la estrella visible describan una órbita alrededor de su centro de masas común, como ocurre en el caso de los dos miembros de una estrella binaria (consulta el capítulo 11). En cambio, si el compañero no puede verse, quizá sea mucho más pequeño y tenue que una estrella y, por tanto, es posible que sea un planeta. Los astrónomos han descubierto muchas estrellas que tiemblan observando los cambios que experimenta su espectro con el tiempo. El efecto Doppler (que también explico en el capítulo 11) revela los movimientos adelante y atrás.
- ✓ **Disminución periódica del brillo de una estrella:** Cuando los observadores hacen mediciones precisas del brillo de una estrella y detectan una pequeña disminución del brillo, puede significar que la estrella tiene un planeta que pasa por delante de ella, igual que un tránsito de Mercurio a través del Sol (consulta el capítulo 6). El planeta

bloquea una pequeña parte de la luz de la estrella cuando pasa por delante. La fracción de luz de la estrella que falta durante el tránsito indica a los astrónomos el tamaño del planeta, comparado con la estrella (cuanto más grande sea el planeta, mayor es la reducción del brillo). El intervalo entre dos tránsitos es el tiempo que tarda el planeta en describir una órbita alrededor de la estrella: el “año” del planeta. El satélite *Kepler* y un satélite francés llamado CoRoT encuentran exoplanetas mediante el método del tránsito. Puedes encontrar algunos de estos descubrimientos y sus años en la tabla 14-1.

- ✓ **Un breve aumento en el brillo de la estrella, seguido (o precedido) muy de cerca por otro incremento fugaz:** Algunos astrónomos utilizan telescopios que controlan miles de estrellas al mismo tiempo. Buscan fenómenos especiales cuando una de las estrellas brilla de forma notable y después se atenúa hasta su magnitud original durante un período que dura varias semanas. Durante ese tiempo, puede haber un segundo fenómeno de brillo que dure sólo unas horas o días. Estos fenómenos son consecuencia de la microlente gravitatoria (que explico en el capítulo 11). En este proceso, la gravedad de una estrella tenue en primer plano amplía la luz de la estrella más distante durante semanas, provocando que parezcan más brillantes. Cuando se produce un segundo brillo más breve, ese efecto adicional está provocado por la gravedad de un planeta cerca de la estrella en primer plano.

Tabla 14-1. Exoplanetas destacados

<i>Planeta</i>	<i>Masa</i>	<i>Tamaño</i>	<i>“Año”</i>	<i>Distancia</i>	<i>Descripción</i>
PSR 1257+12c	4 MT	¿?	67 días	1.600 años luz	Planeta pulsar, planeta de diamante
Kepler-20f	1–2 MT	1 DT	20 días	950 años luz	Exo-Tierra
Kepler-22b	¿?	2,4 DT	290 días	620 años luz	Supertierra en zona habitable
GJ 1214b	6,6 MT	2,7 DT	1,6 días	42 años luz	Supertierra, mundo acuático
Gliese 581d	6 MT	¿?	67 días	20 años luz	Supertierra rocosa, posible planeta Ricitos de Oro
WASP-12b	1,4 MJ	1,7 DJ	1,1 día	1.400 años luz	Júpiter caliente, probable planeta de carbono
CoRoT-9b	0,8 MJ	1,1 DJ	95 días	1.500 años luz	Júpiter corriente
HIP 13044b	1,3 MJ	¿?	16 días	2.300 años luz	Intruso intergaláctico
Kepler-16b	0,3 MJ	0,8 DJ	229 días	200 años luz	Planeta Tatooine, orbita alrededor de dos estrellas enanas frías
WASP-17b	0,5 MJ	2,0 DJ	3,7 días	1.300 años luz	Planeta retrógrado, Júpiter caliente

La masa del planeta aparece en unidades de la masa de la Tierra, M_T , o de la masa de Júpiter, M_J . El tamaño se indica teniendo en cuenta los diámetros de la Tierra o de Júpiter, D_T y D_J . “¿?” hace referencia a que la cantidad se desconoce. La duración del “año” de un planeta, es decir, el tiempo que se tarda en rodear una vez la estrella, se indica en unidades de día de la Tierra, o 24 horas.

La mayoría de los exoplanetas se encuentran mediante observaciones de movimientos de vaivén, tránsitos y microlentes. Además, existen otros dos métodos con los que se han identificado algunos exoplanetas poco habituales:

- ✓ **Imagen directa:** En casos excepcionales, los astrónomos encuentran exoplanetas que no están perdidos en el brillo de sus estrellas. En fotos tomadas con telescopios, los planetas parecen puntos diminutos junto a las estrellas. Las fotos tomadas durante un período de tiempo concreto muestran si dicho punto se mueve a través del espacio con la estrella,

lo que confirmaría que se trata de un compañero planetario y no de un objeto tenue del fondo. De media, estos planetas de “imagen directa” son más jóvenes, más grandes y más brillantes que la mayoría de los exoplanetas conocidos y también están más lejos de sus estrellas.

- ✓ **Medición de los pulsos de radio de un pulsar:** Los radioastrónomos miden los tiempos de llegada de los pulsos de las ondas de radio de los púlsares, un tipo de estrella muerta que describo en el capítulo 11. Los pulsos llegan a intervalos de espacio precisos. Pero hay casos en los que durante un tiempo los pulsos llegan con adelanto, y con retraso durante el mismo período, y ese patrón se repite continuamente. Este patrón revela que el pulsar describe una pequeña órbita debido a la gravedad de un planeta. Cuando el pulsar está en el lado de la órbita más cercano a la Tierra, los pulsos llegan adelantados porque tienen que recorrer una distancia ligeramente más pequeña. Y cuando el pulsar está en el lado más alejado, los pulsos llegan retrasados porque deben recorrer una distancia mayor. La mayoría de los exoplanetas nacieron con sus estrellas, pero probablemente los planetas de los púlsares se formaron después de que sus estrellas murieran en explosiones de supernova.

Conoce los (exo)planetas

Quizá los astrónomos no hayan encontrado todos los tipos de exoplanetas que existen porque algunos son demasiado pequeños o escasos para aparecer en las observaciones actuales. Por lo tanto, probablemente el conocimiento actual de los exoplanetas sea incompleto. Sin embargo, los astrónomos han identificado muchos tipos interesantes, la mayoría distintos a cualquiera de los planetas de nuestro Sistema Solar.

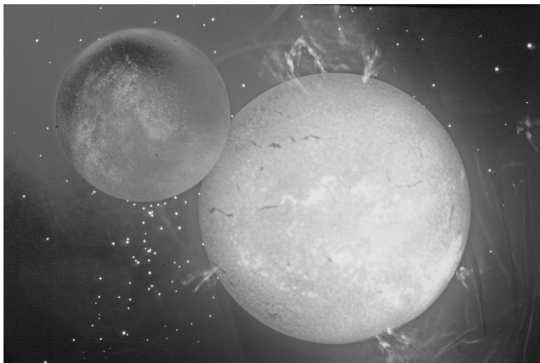
Los tipos principales de exoplanetas conocidos son:

- ✓ **Planeta de carbono:** Mundo rocoso que tiene mucho más carbono y muchas menos rocas silicatadas y agua (si las tiene) que la Tierra. Su capa superficial quizá esté compuesta principalmente por grafito (como la mina de un lápiz); en el interior, el carbono forma una capa de diamante (por lo que también es un *planeta de diamante*). El interior de un planeta de carbono muy grande puede albergar BC8, un tipo de carbono que no tiene nombre común y que es más denso que el diamante.

- ✓ **Exo-Tierra (o Tierra):** Planeta rocoso que tiene aproximadamente el mismo tamaño y masa que nuestra Tierra.
- ✓ **Supertierra:** Exoplaneta más grande y masivo que una exo-Tierra, pero aproximadamente más pequeño que Neptuno. Los planetas supertierra tienen masas que van desde dos hasta diez veces la masa de la Tierra. Pueden ser planetas rocosos o gaseosos y de hielo, como Urano (consulta el capítulo 9), planetas de carbono o incluso planetas océano (se describe posteriormente en esta lista).
- ✓ **Planeta Ricitos de Oro:** Exo-Tierra, o supertierra rocosa, con condiciones en su superficie aptas para que exista agua líquida. Debería situarse en la *zona habitable*, el rango de distancias desde su estrella dentro del cual el agua superficial ni está permanentemente congelada ni llega al punto de ebullición. Algunos exoplanetas rocosos con atmósferas densas pueden estar en la zona habitable, pero no son planetas Ricitos de Oro porque sus atmósferas atrapan tanto calor que la temperatura superficial está muy por encima del punto de ebullición del agua. (Esta descripción suena justo como la de Venus, que describo en el capítulo 6.)
- ✓ **Júpiter caliente (también reciben el nombre de *planeta pegasiano*):** Planeta gigante gaseoso, como Júpiter (consulta el capítulo 8), que está muy cerca de su sol. Muchos de estos planetas calientes están más cerca de sus soles que Mercurio de nuestro Sol. Consulta la figura 14-4 para ver el trabajo que hizo un artista para explicar cómo es un exoplaneta Júpiter caliente.
- ✓ **Júpiter:** Exoplaneta gigante gaseoso situado lo suficientemente lejos de su sol para estar frío, como nuestro Júpiter. Denomino a este tipo de exoplaneta “exoplaneta corriente”, a pesar de que, hasta la fecha, los astrónomos hayan encontrado muchos más júpiteres calientes que fríos.
- ✓ **Intruso intergaláctico:** Exoplaneta que orbita alrededor de una estrella en nuestra galaxia que ha sido capturado de otra galaxia. (Como explico en el capítulo 12, la Galaxia Enana de Sagitario, por ejemplo, está siendo absorbida por la Vía Láctea. Poco a poco, sus estrellas se convierten en miembros de la Vía Láctea.)
- ✓ **Planeta vagabundo:** Cuerpo de masa planetaria, situado en el espacio entre las estrellas, que no orbita alrededor de ninguna estrella. Algunos astrónomos se refieren a estos exoplanetas como “planetas flotantes”. Los vagabundos son una excepción a la definición de exoplaneta como

cuerpo que orbita alrededor de una estrella. Se pueden haber formado alrededor de una estrella y, después, de algún modo, haber escapado de la órbita. O quizá nacieron de una forma que aún se desconoce.

- ✓ **Planeta Tatooine:** Exoplaneta que orbita alrededor de una estrella binaria de manera que tiene dos soles. El nombre hace honor al planeta ficticio Tatooine, que tiene dos soles y un paisaje desértico, hogar de Luke Skywalker en *La guerra de las galaxias*.



Cortesía de Seth Shostak

Figura 14-4:

El concepto de un artista de un júpiter caliente que orbita alrededor de la estrella 51 Pegasi

- ✓ **Venus de marea:** Exo-Tierra que, a pesar de que pueda ubicarse en la zona habitable, está (como Venus) demasiado caliente para tener agua líquida. Nuestro Venus está caliente porque atrapa la energía solar en una atmósfera densa. Sin embargo, un Venus de marea se calienta mediante las intensas fuerzas de marea ejercidas por su sol, que causa fricción en su interior rocoso.

- ✓ **Planeta océano (también denominado *mundo acuático*):** Supertierra formada principalmente por agua. Compárala con nuestra Tierra, compuesta por roca y hierro, con océanos en la superficie. Un planeta océano puede estar formado por la mitad o más de agua, sin sitio para atracar el barco. Al Kevin Costner de *Water World* no le gustaría.
- ✓ **Planeta retrógrado:** Exoplaneta que orbita alrededor de su sol en dirección opuesta a la de su estrella. En el Sistema Solar, los ocho planetas (y Plutón, también) siguen órbitas *prógradas*. Es decir, orbitan de la misma forma en la que gira nuestro sol: en sentido contrario a las agujas del reloj, como se ve desde un punto imaginario muy por encima del polo norte del Sol. Un planeta retrógrado es como el famoso aviador apodado Wrongway Corrigan, que voló desde Nueva York hasta Irlanda en 1938 cuando se suponía que se dirigía a Long Beach (California).

En la tabla 14-1 te ofrezco una lista de ejemplos típicos de la mayoría de los tipos de exoplaneta. No incluyo venus de marea porque los científicos todavía no han encontrado un caso definitivo (hay algunos casos posibles en estudio). Tampoco incluyo intrusos intergalácticos porque, a pesar de que se hayan descubierto algunos, todavía se desconocen muchas de sus características esenciales.

Muchos de los exoplanetas conocidos forman parte de sistemas más grandes, con dos o más planetas que orbitan alrededor de la misma estrella, como los ocho planetas de nuestro Sol. Al cierre de esta edición, existen 128 sistemas planetarios exosolares conocidos.

Observa planetas por diversión y ciencia

Puedes ver el satélite *Kepler* y sus descubrimientos en la web de la NASA, <http://kepler.nasa.gov>. Observa el estado y los descubrimientos de la misión espacial de búsqueda de exoplanetas de Francia, CoRoT, en <http://smc.cnes.fr/COROT>.

Si tienes iPhone o iPad, puedes utilizar la aplicación gratuita Kepler Explorer desarrollada por la Universidad de California (Santa Cruz). Dicha aplicación enumera los exoplanetas descubiertos por Kepler, te muestra cómo orbitan alrededor de las estrellas huésped, y te permite seleccionar exoplanetas para realizar un estudio más profundo en tu dispositivo móvil. Basta con descargar el Kepler Explorer de la App Store de iTunes.

Puedes ayudar a la investigación científica sobre los exoplanetas uniéndote al proyecto Planet Hunters, mantenido por la Universidad de Yale y Zooniverse en la web www.planethunters.org. Los participantes tienen un papel activo en la investigación de los datos del satélite *Kepler*.

Astrobiología: ¿cómo es la vida en otros mundos?

La astrobiología es la ciencia que estudia la posibilidad de que haya vida en el espacio. Como mínimo debe de ser probable que haya vida en algunos exoplanetas ya que, si la galaxia tiene 100 mil millones de exoplanetas, por lo menos en algunos deberían darse las condiciones adecuadas para que la vida surja y florezca. Por desgracia, los científicos sólo han descubierto una diminuta fracción de los 100 mil millones de planetas que creen que existen, y todos están muy lejos. No podemos conseguir un primer plano de un exoplaneta con un gran telescopio y observar a grandes manadas de dinosaurios migratorios.

Actualmente, las dos formas más fructíferas de examinar la posibilidad de vida extraterrestre son las siguientes:

- ✓ Estudiar extremófilos, es decir, formas de vida que existen en condiciones medioambientales extremas en la Tierra, condiciones letales para la mayoría de los tipos de vida.
- ✓ Buscar signos de vida, actual o pasada, en cuerpos cercanos del Sistema Solar con sondas espaciales y telescopios.

En los siguientes apartados describo cómo los investigadores utilizan ambos métodos.

Extremófilos: ¡qué vida más dura!

La mayoría de los extremófilos son microorganismos, como bacterias, a pesar de que en la Antártida muchas especies de plantas sobreviven a temperaturas por debajo de los -40°C . Si te gusta el frío extremo, eres un criófilo. Algunas bacterias florecen en agua tan caliente que escaldaría y provocaría la muerte a cualquier otro ser vivo. Estos *hipertermófilos* viven a 125°C en fuentes termales del Parque Nacional de Yellowstone y a temperaturas igual de elevadas en profundos conductos oceánicos. Esta temperatura está por

encima del punto de ebullición normal, 100 °C, pero el agua no hierve cuando está bajo una presión elevada, a una gran profundidad bajo la superficie del océano. Los hipertermófilos que conocemos no sobrevivirían en Venus, donde la temperatura superficial es de 465 °C. (Consulta el capítulo 6.) Pero probablemente exista algún exoplaneta moderadamente cálido en algún sitio que sea perfecto para esos organismos.

Si te gusta la jardinería, puedes comprobar el pH de tu tierra para asegurarte de que no es demasiado alcalina o ácida para las plantas que quieres plantar. Si es demasiado alcalina (o ácida) puede ser fatal para la mayoría de las plantas. Sin embargo, a algunos extremófilos les encantan las condiciones ultraalcalinas (*alcalófilos*) o nadar en aguas ácidas (*acidófilos*). Deja caer un pez en el mar Muerto y morirá (de ahí su nombre). En cambio, para algunas bacterias (*halófilas*), ese mar salado en realidad resulta un dulce hogar. Algunas bacterias viven en diminutos poros de roca sólida a más de 4 kilómetros bajo tierra. Estos extremófilos no consiguen energía del Sol, sino que extraen energía química de su entorno. Y los *barófilos* prosperan en las profundidades oceánicas, donde la presión del agua que la cubre es mil veces la presión atmosférica a nivel del mar. Los científicos incluso han descubierto bacterias que viven en las nubes por encima de tu cabeza, y no cuento las que se levantan desde el suelo por el viento.

Lo que nos indican los extremófilos es que la vida es oportunista. Encontrará formas de sobrevivir (y quizá de aparecer, en primer lugar) en condiciones en las que nosotros no podemos existir. Lo que puede suceder en la Tierra también puede pasar en los exoplanetas. Y eso sólo suponiendo que la vida en otros planetas sea como la vida tal y como la conocemos. Si la otra vida es completamente distinta a la que conocemos (por ejemplo, la vida no se basa en el carbono como la vida en la Tierra, sino en otro elemento), todo puede suceder, y muchos ambientes que existen en otros mundos podrían estar habitados.

En busca de vida en el Sistema Solar

Obtener pruebas fiables de la vida fuera de la Tierra será difícil. Pero si no lo intentamos, nunca lo sabremos. Los astrónomos han considerado que los siguientes puntos son los mejores lugares en los que buscar vida en el Sistema Solar (fuera de la Tierra):

- ✓ Marte.
- ✓ Europa, la luna de Júpiter.
- ✓ Las lunas de Saturno, Titán y Encélado.

La búsqueda continua de marcianos

Tal y como describo en el capítulo 6, los científicos examinaron y debatieron la afirmación de que existen fósiles microscópicos en una roca de Marte. Los astrónomos que estudian Marte con telescopios desde la Tierra consiguen resultados contradictorios sobre si a veces aparece gas metano en Marte. Una fuente de metano podrían ser las bacterias (algunas especies de la Tierra producen metano y otras se lo comen). Sin embargo, aunque exista metano en Marte, puede que proceda de un proceso geológico, igual que algunos gases en la Tierra proceden de los volcanes. Las sondas espaciales de la NASA trazaron un mapa de accidentes geográficos de Marte que parecían los restos de antiguos lechos marinos y canales de inundación. Los exploradores robóticos en Marte han encontrado rocas y minerales que se podrían haber formado cuando se secaron las masas de agua. Donde hubo agua en Marte, pudo haber habido vida. Algunos científicos creen que algunas partes de Marte tienen permafrost. Bajo la capa de permafrost, donde el subsuelo está más caliente, podría haber agua líquida. Quizá ahora haya microbios en Marte viviendo por debajo del alcance de los vehículos de exploración. Las mentes inquisitivas quieren más información.

Una nueva misión de la NASA para estudiar Marte, Mars Science Laboratory (Laboratorio Científico de Marte), llegó al planeta rojo en agosto de 2012. Lleva un vehículo explorador llamado *Curiosity*, cuyo propósito principal es verificar si las condiciones pasadas de Marte podrían haber albergado vida microbiana (o si las condiciones actuales son adecuadas para ello). Puedes seguir su progreso a través del espacio y en Marte en <http://marsprogram.jpl.nasa.gov/msl>.

Europa, apenas te conocemos

Europa es una luna rocosa de Júpiter con una capa de hielo en la superficie (consulta el capítulo 8). El agua líquida (probablemente salada) cubre toda la luna bajo el hielo. Los científicos creen que el océano podría albergar vida microscópica. Sin embargo, el hielo tiene un grosor de como mínimo 1,5 o 2 kilómetros, y posiblemente mucho más. Quizá aún no tengamos la suficiente capacidad de ingeniería para perforar el océano de Europa, aunque la NASA o alguna otra agencia espacial tuviera el dinero necesario para intentarlo. Algunos expertos en Europa sospechan que hay movimientos esporádicos en el hielo y el océano. De ser así, parte del agua llegaría a la superficie, donde se congelaría y permanecería. Si es cierto, estos cambios pueden llevar indicios de vida oceánica a la superficie, donde una sonda que aterrizase podría encontrarlos.

Títán: quizá una Tierra primigenia

Títán, la luna más grande de Saturno, es más grande que nuestra Luna y tiene

una atmósfera densa, lo que hace que sea más parecida a un planeta que cualquier otra luna (consulta el capítulo 8). También tiene grandes lagos de hidrocarburos líquidos, los únicos líquidos presentes en la superficie de cualquier objeto del Sistema Solar aparte de la Tierra. Los astrónomos piensan que Titán puede parecerse a la Tierra en sus etapas más tempranas, antes de que el oxígeno se convirtiera en una parte importante de la atmósfera. Por eso, si surgió la vida en la Tierra, también podría aparecer en Titán. Titán está más frío que lo que nunca ha estado la Tierra, pero tiene un océano de agua subterráneo. (Si buscas más información sobre Titán, consulta el capítulo 8.)

La pluma de Encélado

Encélado es una luna de hielo de Saturno que tiene una masa de agua debajo del hielo, como mínimo cerca del polo sur. Cantidades de agua que se congelan inmediatamente y forman diminutas partículas de hielo surgen de la región polar hacia el espacio. A diferencia de Europa, donde el océano está a una gran profundidad bajo una gruesa capa de hielo, el agua de Encélado está cerca de la superficie. Gracias a eso, puede que para los científicos sea más fácil recoger muestras y buscar pruebas de la existencia de vida.

Los científicos contemplan lunas para detectar vida extraterrestre

El hecho de que lunas como Europa, Titán y Encélado pudieran ser capaces de albergar vida tiene una importante implicación para la astrobiología: cuando los astrónomos piensan en vida en los exoplanetas, deben considerar también sus lunas. Los astrónomos están empezando a buscar exolunas porque, donde hay exoplanetas, también debería haber lunas. Si un planeta está en una zona habitable, pero no puede albergar vida (por ejemplo, porque su atmósfera atrapa demasiado calor), quizá tenga una luna adecuada para que haya vida.

Seth Shostak, doctor y astrónomo sénior del SETI Institute de Mountain View (California), escribió este capítulo en ediciones anteriores de Astronomía para Dummies. El autor del libro, Stephen P. Maran, revisó el apartado sobre la búsqueda de inteligencia extraterrestre y escribió sobre los exoplanetas para esta edición.

Capítulo 15

Conoce los entresijos de la materia oscura y la antimateria

En este capítulo

- ▶ Descubrirás el concepto de materia oscura
 - ▶ Buscarás pruebas de la existencia de la materia oscura
 - ▶ Te sentirás atraído por la antimateria
-

Las estrellas y las galaxias iluminan el cielo nocturno, pero estas joyas resplandecientes sólo representan una parte diminuta de la materia del cosmos. Hay mucho más en el universo de lo que está a la vista, mucho más.

En este capítulo se incluye una introducción al concepto de materia oscura, te muestra por qué los astrónomos están convencidos de que eso existe y describe experimentos que pueden arrojar luz sobre la naturaleza de ese misterioso e invisible material. También comento otro tipo exótico de materia del universo: la antimateria. Sí, la antimateria existe fuera de la ciencia ficción, y la versión del mundo real es tan fascinante como sugieren los libros, los programas de televisión y las películas de ciencia ficción.

La materia oscura: puntos básicos del pegamento universal

En la década de 1930, un astrónomo encontró indicios de que la mayoría de la masa del universo no emite, refleja ni absorbe luz.

Este material invisible, conocido como *materia oscura*, sirve como pegamento gravitacional que impide que una galaxia que rote rápidamente se vaya separando y posibilita que las galaxias de movimiento rápido de un cúmulo se mantengan juntas. Asimismo, la materia oscura parece haber tenido un papel

crucial en el desarrollo del universo tal y como lo conocemos hoy en día, una fina red de supercúmulos de galaxias inmensamente largos separados por vacíos gigantes (consulta el capítulo 12).

Los astrónomos han determinado que casi el 84 % de toda la materia del universo es materia oscura. Es una lección de humildad. Cuando miras el cielo nocturno u observas a través de un telescopio, ves un universo repleto de estrellas y galaxias, pero eso es sólo una diminuta fracción de lo que hay ahí fuera. Por utilizar una analogía náutica, si las galaxias son como espuma del mar, la materia oscura es el invisible y vasto océano en el que flota.

Pruebas de la existencia de la materia oscura

La primera pista de que el universo contiene materia oscura apareció en 1933. Mientras examinaba los movimientos de galaxias dentro de un gran cúmulo de galaxias de la constelación de Coma Berenices, el astrónomo Fritz Zwicky del CIT (Instituto de Tecnología de California) averiguó que algunas galaxias se mueven a una velocidad extraordinariamente elevada. De hecho, las galaxias del Cúmulo de Coma se mueven tan de prisa que todas las estrellas visibles y el gas del cúmulo no pueden mantener las galaxias vinculadas gravitatoriamente entre sí, según nuestras leyes de la física. Sin embargo, de alguna manera, el cúmulo se mantiene unido. (El Cúmulo de Coma está a unos 320 millones de años luz de la Tierra. Si quieres obtener más información sobre los cúmulos de galaxias, consulta el capítulo 13.)

Fritz Zwicky llegó a la conclusión de que debe de existir algún tipo de materia oscura invisible dentro del Cúmulo de Coma que proporciona la atracción gravitacional que falta.

Es habitual que los científicos no aprecien un descubrimiento increíble cuando sólo lo afirma una persona o equipo. Quieren más pruebas de expertos independientes antes de convencerse del último descubrimiento. Así, no es de extrañar que la materia oscura tardara décadas en llenar los titulares después del trabajo de Zwicky. Muchos astrónomos pasaron por alto su informe o pensaron que, tras estudiar los movimientos de las galaxias con mayor detalle, la base para la existencia de aquella supuesta materia invisible desaparecería.

En la década de 1970, los astrónomos empezaron a encontrar pruebas adicionales y convincentes de la materia oscura. No sólo los cúmulos de galaxias parecen contener materia oscura, sino que la materia oscura también se encuentra en galaxias concretas. En los siguientes apartados, describo los principales argumentos a favor de la existencia de la materia oscura.

La materia oscura hace que las estrellas orbiten de forma extraña

Vera Rubin y Kent Ford, de la Carnegie Institution de Washington, DC, estaban estudiando los movimientos de estrellas en cientos de galaxias espirales cuando obtuvieron un resultado que parecía ir en contra de la física convencional. Una galaxia espiral típica tiene forma de huevo frito. La mayor parte de su masa visible (estrellas y nebulosas brillantes) parece concentrada en la yema. Es lo que los astrónomos denominan *bulbo* (tal y como explico en el capítulo 12). Las imágenes revelan que la masa visible de una espiral disminuye rápidamente cuanto más distante está del bulbo.

Los astrónomos suponían que las estrellas de una galaxia espiral orbitan alrededor del centro de la galaxia igual que los planetas de nuestro Sistema Solar orbitan alrededor del Sol. Obedeciendo la ley de la gravedad de Newton, los planetas exteriores, como Urano y Neptuno, orbitan alrededor del Sol menos rápido que los planetas interiores, como Mercurio y Venus. Por lo tanto, las estrellas de los suburbios de una galaxia espiral deberían orbitar a una velocidad menor que las estrellas más cerca del centro. Pero eso no es lo que descubrieron Rubin y Ford.

En una galaxia tras otra, sus observaciones revelaron que las estrellas periféricas orbitan rápido, igual que las estrellas interiores. Con tan poco material visible en las regiones exteriores, ¿cómo consiguen las estrellas periféricas moverse tan rápido y permanecer vinculadas a la galaxia? Deberían escapar de su galaxia, teniendo en cuenta su velocidad. Rubin había descubierto señales serias de este comportamiento inesperado en trabajos anteriores; sin embargo, muchos astrónomos necesitaban que los convencieran. (Para obtener más información sobre la velocidad de escape, consulta el capítulo 13.)

Después de que los descubrimientos de Rubin y Ford se conocieran, los astrónomos llegaron a la conclusión de que la *materia visible* (las estrellas y el gas luminoso que aparecen en las fotografías telescópicas) compone sólo una pequeña parte de la masa total de una galaxia espiral.

A pesar de que la masa visible está realmente concentrada hacia el centro, una amplia cantidad de otro material debe extenderse más allá. Cada galaxia espiral está rodeada por un inmenso halo de materia oscura. Y para ejercer suficiente atracción gravitacional en las estrellas en las zonas periféricas visibles de las galaxias y hacerlas orbitar tan rápidamente como se observa, la materia oscura debe superar a la materia visible por un factor de 10 en masa. Otros tipos de galaxias, entre las que se incluyen las elípticas y las irregulares, también tienen halos de materia oscura. Las galaxias enanas (que describo en el capítulo 12) tienen proporciones incluso más elevadas de materia oscura respecto a materia visible que las galaxias grandes.

A partir de la década de 1990, los astrónomos que observaban cúmulos de galaxias con telescopios de rayos X en satélites como el *ROSAT* y el Observatorio de rayos X Chandra, cartografiaron enormes regiones dentro y

alrededor de los cúmulos que brillan con los rayos X. Los brillos proceden de un medio intracúmulo de gas tenue y muy caliente. El gas caliente rellena esa enorme región y, aun siendo tan tenue, su masa total excede a la suma de las masas de todas las galaxias de un cúmulo.

El gas tenue y caliente tendería a expandirse, pero se queda en el cúmulo de galaxias por la atracción gravitacional de una masa que es mucho mayor que su propia masa más la masa de las galaxias del cúmulo. La fuente de esta potente gravedad es la materia oscura del cúmulo. Este hecho es una prueba más de que, en 1933, Fritz Zwicky estaba en lo cierto cuando afirmó que, en un cúmulo, la materia invisible (que ahora llamamos materia oscura) existe en cantidades enormes.

La materia oscura fría y un enigma básico sobre el universo

Los *cosmólogos* (científicos que estudian la estructura del universo y su formación a gran escala) también señalan a la materia oscura para explicar un enigma básico sobre el universo: ¿cómo aquella sopa casi uniforme de partículas elementales después del Big Bang (consulta el capítulo 16) logró su actual estructura grumosa de cúmulos y supercúmulos de galaxias?

A pesar de que hayan transcurrido 13.700 millones de años desde el nacimiento del universo, los científicos no creen que haya pasado suficiente tiempo para que la materia visible se una por sí misma en las enormes estructuras cósmicas que vemos hoy en día.

Para resolver este enigma cosmológico, algunos expertos afirman que el universo contiene un tipo especial de materia oscura, llamada *materia oscura fría*, que se mueve despacio pero que se agrupa más de prisa que la materia visible ordinaria. Respondiendo a la atracción de este exótico material, la materia ordinaria formó estrellas y galaxias dentro de las concentraciones más densas de materia oscura. Esta teoría explica por qué todas las galaxias visibles parecen estar incrustadas en su propio halo de materia oscura.

¿Es correcta la teoría de la materia oscura fría? Parece coincidir en general con los datos que tenemos sobre el universo, según les consta a los científicos. Sin embargo, esta coincidencia no es perfecta. Por ejemplo, en la teoría se predice que cientos de diminutas galaxias satélite rodearán a una gran galaxia como la Vía Láctea. No obstante, no vemos todas estas galaxias satélite. Las predicciones de la teoría puede que necesiten trabajo, o quizá necesitemos una teoría mejor de la propia materia oscura. O puede que haya galaxias pequeñas y tenues a nuestro alrededor que todavía no hemos descubierto.

Incluso es posible que los astrónomos no hayan encontrado suficientes galaxias satélite porque muchas de ellas fueron engullidas por las galaxias grandes alrededor de las que orbitan, como la Galaxia Enana de Sagitario y la Galaxia Enana de Canis Major, que actualmente están siendo absorbidas por la

Vía Láctea (como explico en el capítulo 12).

La materia oscura es clave para la densidad del universo

Los astrónomos creen en la materia oscura por otra razón cósmica: a gran escala, el universo parece igual en todas las direcciones y tiene una homogeneidad general. Estas constantes apariencia y homogeneidad indican que el universo tiene la densidad justa de materia, denominada *densidad crítica* (que explico en el capítulo 16). La cantidad total de materia visible que observamos en el universo no es suficiente para lograr una densidad crítica. La materia oscura tensa la cuerda.

El debate sobre la composición de la materia oscura

De acuerdo, los astrónomos tienen buenas razones para creer en la materia oscura. Pero ¿qué demonios es esa materia?

En general, los astrónomos dividen la materia oscura en dos clases: materia oscura bariónica y materia oscura exótica.

Materia oscura bariónica: grumos en el espacio

Parte de la materia oscura puede que tenga la misma composición que el Sol, los planetas y las personas. Este tipo de materia oscura formaría parte de la familia de los *bariones*, un tipo de partículas elementales que incluye los protones y neutrones que se encuentran en el núcleo de los átomos. Sin embargo, no es la materia oscura fría que menciono en el apartado anterior.

La *materia oscura bariónica* contiene todo el material difícil de ver formado por tipos conocidos de materia, lo que incluye a asteroides, enanas marrones y enanas blancas (describo las enanas en el capítulo 11). Sí, los científicos pueden detectar asteroides en nuestro Sistema Solar y enanas blancas y marrones cerca de la Vía Láctea. No obstante, lejos, en el halo galáctico, estos objetos pueden ser indetectables con la tecnología de que disponemos en la actualidad. Estos hipotéticos objetos del halo galáctico, conocidos como *MACHO* (por sus siglas en inglés, *Massive Astrophysical Compact Halo Objects*, objetos astrofísicos masivos del halo compacto), pueden explicar los halos de materia oscura que rodean a las galaxias individuales. (Comento la búsqueda de MACHO más adelante en este capítulo.) Sin embargo, no vemos suficientes para explicar el desarrollo de estructuras a gran escala en el cosmos. Creo que esta teoría probablemente sea incorrecta, y los científicos que la propusieron tendrán que aceptar su responsabilidad.

Materia oscura exótica: todavía más extraña

La otra clase de materia oscura puede estar formada por uno o más tipos de partículas subatómicas exóticas que se parecen poco (o nada) a los bariones. Estas partículas incluyen *neutrinos*, que realmente existen (consulta el capítulo 10 para obtener más información sobre ellos) y otras con nombres como *axiones*, *squarks*, *fotinos* y *neutralinos* que los físicos han soñado sin tener pruebas de su existencia. Se están llevando a cabo experimentos, pero, hasta la fecha, nadie ha capturado un axión ni otra partícula hipotética de materia oscura. Como mínimo, no la han capturado ni han convencido a otros científicos de su descubrimiento, por eso todavía se debe arrojar luz sobre la materia oscura.

Durante el Big Bang en el nacimiento del universo (consulta el capítulo 16), se pudieron haber formado un zoo de partículas raras de materia oscura y puede que todavía existan algunos tipos. Las partículas teóricas incluyen el axión, un tipo de agujero negro en miniatura 100 mil millones de veces más ligero que un electrón. Aunque los axiones (si existen) sean pesos pluma, en cantidad suficiente pueden ser importantes para la masa cósmica. Según experimentos recientes, el neutrino (una partícula que los científicos una vez pensaron que tenía masa cero) realmente tiene una masa muy pequeña pero real. Por eso, los neutrinos pueden representar una pequeña parte de la materia oscura.

Otros candidatos para la materia oscura exótica son más pesados (unas diez veces la masa del protón) pero siguen siendo insustanciales por lo que respecta a componer la materia oscura del universo, a menos que se den en grandes cantidades. Incluyen los compañeros que aún no se han detectado de ciertas partículas subatómicas conocidas como quarks y fotones. Estas hipotéticas partidas de materia oscura son los squarks y los fotinos. Existen muchas teorías que explican estas partículas de materia oscura y nombres fantasiosos para denominarlas. Los científicos se refieren colectivamente a dichas partículas como WIMP (*weakly interacting massive particles*, partículas masivas que interactúan débilmente).

En la oscuridad: en busca de la materia oscura

Por todo el mundo, los físicos planifican o hacen funcionar sensibles detectores para encontrar signos escurridizos que revelen la existencia de materia oscura. Algunos de estos detectores están diseñados para analizar la basura subatómica creada por dispositivos gigantes que destrozan los átomos, y reproducen brevemente el calor, energía y densidades extremos que estaban presentes en el universo temprano.

Las técnicas de búsqueda deben ser innovadoras. Al fin y al cabo, los científicos están a la caza de material que, por definición, no podemos ver y, que, aparte de ejercer fuerza gravitacional, no interactúa con otra materia.

Todos los métodos para detectar y medir materia oscura son indirectos, pero intentar entender la materia oscura no es un pasatiempo sencillo. Como forma dominante de la materia del universo, la materia oscura influyó profundamente en el desarrollo pasado del universo y también afectará a su futuro.

En busca de partículas WIMP y otra materia oscura microscópica

Los astrónomos descubrieron la materia oscura a través de sus observaciones de galaxias. Ahora, los físicos realizan experimentos para encontrar partículas de materia oscura y aprender qué son.

Algunos experimentos relacionados con la materia oscura que están en marcha actualmente son:

- ✓ Grandes detectores de partículas situados en laboratorios subterráneos a mucha profundidad, donde la roca que los rodea reduce la interferencia de los rayos cósmicos (partículas subatómicas de alta velocidad con carga eléctrica de tipos conocidos que proceden del espacio). Cuando la Tierra se mueve a través de la materia oscura de la Vía Láctea, se pueden encontrar partículas de materia oscura cuando éstas chocan contra los detectores.
- ✓ Telescopios equipados para detectar rayos gamma celestes en naves espaciales como el Telescopio Espacial de Rayos Gamma *Fermi* de la NASA. Un rasgo poco frecuente en el espectro de los rayos gamma puede indicar que alguno de ellos procede de partículas de materia oscura destruidas en el espacio.
- ✓ Telescopios en tierra distribuidos formando una malla detectan destellos de luz visible que se generan cuando los rayos gamma celestes golpean la atmósfera. Un ejemplo destacado es el HESS (High Energy Stereoscopic System; Sistema Estereoscópico de Alta Energía) de Namibia. Los análisis de estos datos, como los procedentes del Telescopio Fermi, pueden revelar un rasgo espectral de los rayos gamma que identificaría la materia oscura de la fuente que los generó.
- ✓ El espectrómetro magnético Alfa (AMS-02) opera en la Estación Espacial Internacional. El AMS busca rayos cósmicos poco frecuentes que puedan ser producidos por *neutralinos*, un tipo de partículas teóricas de materia oscura. Cuando los neutralinos chocan unos con otros en el espacio, pueden crear los rayos cósmicos que busca el AMS.

Los avances de la tecnología posibilitan otros experimentos relativos a la materia oscura:

- ✓ Potentes *fragmentadores* de átomos, como el Gran Colisionador de Hadrones, cerca de Ginebra (Suiza), que pueden hacer que las partículas subatómicas choquen entre sí a energías muy elevadas. Pueden generar partículas de materia oscura para su detección en el laboratorio.
- ✓ Observatorios subterráneos de neutrinos (consulta el capítulo 10), que se pueden poner al día para hacer mejores mediciones de los neutrinos del Sol y revelar condiciones físicas cerca del centro solar. Estos experimentos pondrán a prueba la teoría de que el Sol ha acumulado una gran cantidad de materia oscura, concentrada hacia su centro.

Para obtener más información sobre algunos de estos experimentos relacionados con la materia oscura, consulta las siguientes páginas web:

- ✓ **Sitio web del Telescopio Espacial de Rayos Gamma *Fermi* de la NASA** (www.nasa.gov/mission_pages/GLAST/main/index.html): Encontrarás noticias sobre la búsqueda de materia oscura y otros descubrimientos de *Fermi*.
- ✓ **Sitio web del AMS (Espectrómetro Magnético Alfa) de la NASA** (<http://ams.nasa.gov>): Un contador te dice cuántos miles de millones de rayos cósmicos ha medido desde que fue instalado en la Estación Espacial Internacional, en mayo de 2011.
- ✓ **Sitio web del HESS (Sistema Estereoscópico de Alta Energía)** (www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS): Lee acerca de los muchos descubrimientos del HESS relativos a fuentes astronómicas de rayos gamma.
- ✓ **Gran Colisionador de Hadrones** (<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/lhc-en.html>): Esta web es la página pública del Gran Colisionador de

Hadrones, conocido como LHC, operado por el CERN (Centro Europeo de Investigación Nuclear).

MACHO: una imagen más brillante

Como los objetos MACHO no son microscópicos, como las partículas WIMP (partículas masivas que interactúan débilmente), son más fáciles de buscar. El método principal aprovecha el concepto complejo de la teoría de la relatividad de Einstein, a saber: la masa distorsiona el tejido del espacio y la trayectoria de las ondas de luz (tal y como describo en el capítulo 11), lo que significa que un objeto que esté en la línea de visión entre la Tierra y una estrella distante concentra la luz de esa estrella, y hace que parezca más brillante durante un breve lapso de tiempo. Cuanto más masivo sea el objeto (en este caso, un MACHO) más brillante parecerá la estrella durante la alineación.

De hecho, el objeto MACHO actúa como una lente gravitacional en miniatura o microlente, curvando y dando brillo a la luz de la estrella de fondo. (Consulta el capítulo 11 para obtener más información sobre microlentes.)

Para buscar objetos MACHO, los astrónomos han controlado el brillo de estrellas de uno de los vecinos más próximos de la Vía Láctea, la galaxia de la Gran Nube de Magallanes. Para llegar a la Tierra, la luz de las estrellas de la Nube debe pasar a través del halo de la Vía Láctea y objetos MACHO que residen en el halo que deberían tener un efecto medible en esa luz.

Los astrónomos han registrado varios fenómenos en los que las estrellas de la Gran Nube de Magallanes de repente brillaban y volvían a atenuarse. El número de objetos MACHO que se ha deducido a partir de esas observaciones no es destacable. Lo siento, E. T.

Mapa de la materia oscura con la lente gravitacional

A escalas mayores, los científicos se aprovechan de la lente gravitacional para trazar mapas de la materia oscura de galaxias enteras e incluso de cúmulos de galaxias.

Si un cúmulo se encuentra en la trayectoria de la luz de una galaxia de fondo, la luz se curva y se distorsiona (un proceso llamado *lente gravitacional*) lo que crea imágenes múltiples del cuerpo situado al fondo. Se forma un halo de estas imágenes fantasma dentro y alrededor del cúmulo, visto desde la Tierra.

Los astrónomos han utilizado el telescopio espacial *Hubble* para fotografiar algunos cúmulos de galaxias con un gran número de imágenes fantasma de una galaxia distante, la cual aparece como cortos arcos brillantes vistos contra el

cúmulo.

Para crear el dibujo exacto de las imágenes fantasma observadas, el cúmulo que interviene debe repartir su masa de una forma concreta. Como la mayor parte de la masa del cúmulo está formada por materia oscura, el proceso de lente gravitacional revela cómo se concentra la materia oscura en él.

El duelo de la antimateria: la demostración de que los opuestos se atraen

Prepárate para otro tipo de materia casi tan rara como la materia oscura (o incluso más): la antimateria.



El físico británico Paul Dirac predijo la existencia de la antimateria en 1929. Combinó las teorías de la mecánica cuántica, el electromagnetismo y la relatividad en un elegante conjunto de ecuaciones matemáticas (si quieres conocer mejor sus teorías, tendrás que buscarlas en otra parte, esto no es un libro de física).

Dirac descubrió que, para cada partícula subatómica, debería existir una imagen especular gemela, idéntica en masa pero con carga eléctrica opuesta. Así, el protón tiene su antiprotón y el electrón, su antielectrón.

Cuando una partícula y su antipartícula se encuentran, se eliminan entre sí. Sus cargas eléctricas se cancelan la una a la otra y su masa se convierte en energía pura.

Los astrónomos han detectado antipartículas del electrón y el protón en los rayos cósmicos que provienen del espacio profundo. El antielectrón recibe el nombre de *positrón* y el antiprotón es el *antiprotón*. El AMS-02 (espectrómetro magnético Alpha) de la Estación Espacial Internacional, que ya he mencionado en este capítulo, busca el antihelio que también puede existir en los rayos cósmicos. De hecho, los físicos han creado en el laboratorio antipartículas e incluso antiátomos completos, como el antihidrógeno. Los médicos utilizan rayos de antipartículas para diagnosticar y tratar el cáncer.

Los físicos han descubierto un cinturón de antiprotones dentro de los cinturones de radiación en los cinturones de Van Allen de la Tierra (que describo en el capítulo 5). Unos investigadores de Italia y otros lugares, descubrieron el cinturón de antiprotones en 2011 con el experimento de detección de partículas PAMELA (Payload for Antimatter Exploration and Light-nuclei Astrophysics; Carga para la Exploración de Materia/antimateria y Astrofísica de Núcleos Ligeros) en el satélite ruso *Resurs DK1*. (Si quieres obtener más información sobre PAMELA y sus descubrimientos, visita la web del proyecto,

<http://pamela.roma2.infn.it/index.php>.)

Los astrónomos que estudian la radiación de alta energía del espacio han observado un tipo de rayo gamma conocido como *radiación de aniquilación*. Cuando un electrón y su antipartícula, el positrón, se encuentran, se aniquilan, liberando rayos gamma a una energía conocida de 511 kiloelectrónvoltios (keV). Estos rayos delatores han sido detectados en varios lugares de la galaxia, incluso en una amplia región en dirección al centro de la Vía Láctea. (Puedes ver un mapa de la radiación de aniquilación de la Vía Láctea, según las mediciones del satélite *INTEGRAL* de la Agencia Espacial Europea en <http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=45328>.)

La radiación de aniquilación también ha sido detectada en algunas potentes fulguraciones solares (consulta el capítulo 10 para obtener más información sobre fulguraciones solares).

A escala cósmica, el gran misterio es: ¿por qué el universo contiene muchas más partículas que antipartículas? Hay experimentos en marcha para encontrar la respuesta. Muchos físicos piensan que el Big Bang forjó un número igual de ambas. Si eso fue lo que sucedió, desde entonces, un proceso físico desconocido ha alterado aquel equilibrio original entre materia y antimateria a favor de la materia.

Otra teoría, que plantea dudas a muchos astrónomos, es que la mayor parte de la antimateria del Big Bang ha sido reunida en regiones separadas en partes distantes del universo, donde existe en mayoría. Si nosotros, seres humanos hechos de materia ordinaria, fuéramos a esas regiones, seríamos destruidos porque la antimateria aniquilaría nuestra materia.

Al menos sabemos que tenemos miles de millones de años para resolver el problema de la falta relativa de antimateria antes de que el universo desaparezca y llegue a su fin definitivo (¡y nosotros con él!). Comento este tema en el capítulo siguiente.

Ron Cowen escribe sobre astronomía y el espacio para numerosas publicaciones y aportó el texto original de este capítulo. El autor, Stephen P. Maran, lo actualizó para las ediciones posteriores de Astronomía para Dummies. Todas las opiniones expresadas en este capítulo pertenecen al autor.

Capítulo 16

El Big Bang y la evolución del universo

En este capítulo

- ▶ Evaluarás las pruebas del Big Bang
 - ▶ Comprenderás la inflación y la expansión del universo
 - ▶ Te sumergirás en la energía oscura
 - ▶ Examinarás el fondo cósmico de microondas
 - ▶ Medirás la edad del universo
-

Érase una vez, hace 13.700 millones de años, el universo tal y como lo conocemos no existía. No había materia, ni átomos, ni luz, ni fotones, ni siquiera existían el espacio y el tiempo.

De repente, quizá en un instante, el universo surgió a partir de un diminuto y denso punto lleno de luz. En una fracción de segundo, toda la materia y la energía del cosmos cobraron vida. El universo primigenio, mucho más pequeño que un átomo, era una bola de fuego intensamente caliente que empezaba a multiplicar su tamaño y a enfriarse a un ritmo frenético.

Los astrónomos y personas de todo el mundo han llegado a conocer esta imagen del nacimiento del universo como teoría del *Big Bang*.

El Big Bang no fue como una bomba que explota en el entorno (no había entorno hasta que se produjo el Big Bang). Fue el origen y la expansión del espacio en sí. Durante la primera billonésima de billonésima de billonésima de segundo, el universo se hizo más de una billonésima de una billonésima de una billonésima de veces mayor. A partir de una mezcla homogénea de radiación y partículas subatómicas, nació el conjunto de galaxias, cúmulos de galaxias y supercúmulos presentes en el universo hoy en día. Me parece alucinante pensar que las estructuras más grandes del universo, las congregaciones de galaxias que

se extienden cientos de millones de años luz a través del cielo, empezaron siendo fluctuaciones subatómicas de la energía del cosmos primigenio. Sin embargo, los científicos creen que el universo se formó de esa manera.

En este capítulo comento pruebas que apoyan la teoría del Big Bang, la expansión del universo e información relacionada con la energía oscura, el fondo de microondas cósmicas, la constante de Hubble y las candelas estándares.



Para obtener más información sobre los conceptos que aparecen en este capítulo, visita el apartado de preguntas frecuentes de la web Cosmology, de la UCLA: www.astro.ucla.edu/~wright/cosmology_faq.html. El autor de este sitio web es el profesor Ned Wright, y da buena información.

Pruebas del Big Bang

¿Por qué creer que el universo empezó con una explosión?

Los astrónomos citan tres descubrimientos que confirman la teoría:

- ✓ **El universo en expansión:** Quizá la prueba más convincente del Big Bang procede de un descubrimiento destacado de Edwin Hubble, en 1929. Hasta aquel momento, la mayoría de los científicos consideraban que el universo era estático y sin cambios. Pero Hubble descubrió que el universo se expande. Los grupos de galaxias se separan entre sí, como los escombros que huyen en todas direcciones a partir de una explosión cósmica, pero no es que se estén separando en el espacio; es el espacio entre ellas el que se expande, y eso hace que estén cada vez más separadas.

Por lógica, si las galaxias se están distanciando, significa que, en el pasado, estaban más cerca las unas de las otras. Al investigar el momento al que se remonta la expansión del universo, los astrónomos (con la ayuda de los telescopios y los observatorios del espacio) descubrieron que hace 13.700 mil millones de años (100 millones de años arriba o abajo), el universo era un lugar increíblemente caliente y denso en el que una enorme liberación de energía inició una explosión enorme.

- ✓ **La radiación del fondo cósmico de microondas:** En la década de 1940, el físico George Gamow se dio cuenta de que un Big Bang produciría una radiación intensa. Sus colegas sugirieron que todavía podían existir restos de esta radiación enfriados por la expansión del universo (como el humo que persiste después de haber apagado una casa en llamas).

En 1964, Arno Penzias y Robert Wilson, de los laboratorios Bell, estaban estudiando el cielo con un radiorreceptor cuando detectaron un chisporroteo tenue y uniforme. Lo que los investigadores supusieron que era estática en su receptor resultó ser el tenue susurro de la radiación que quedaba del Big Bang. La radiación es un brillo uniforme de radiación de microondas (ondas de radio cortas) que permea el espacio. Esta radiación del fondo cósmico de microondas tiene exactamente la temperatura que los astrónomos calculan que debería tener ($-273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$) si se ha enfriado constantemente desde el Big Bang. Por su descubrimiento histórico, Penzias y Wilson compartieron el Premio Nobel de Física en 1978. (Para obtener información detallada, consulta el apartado “Información universal extraída de la radiación del fondo cósmico de microondas”, que aparece más adelante en este capítulo.)

- ✓ **La abundancia cósmica de helio:** Los astrónomos han descubierto que la cantidad de helio que hay en toda la materia bariónica del universo es un 24 % en masa (el resto de la materia bariónica es casi toda hidrógeno; el hierro, el carbono y el oxígeno, y todo ese tipo de cosas juntas, constituye solamente una traza, en comparación con el hidrógeno y el helio). Las reacciones nucleares dentro de las estrellas (consulta el capítulo 11) no han durado lo suficiente para producir esta cantidad de helio. Sin embargo, el helio que hemos detectado es justamente la cantidad que la teoría predice que se habría creado en el Big Bang. Una prueba más que añadir es que la sonda *WMAP* de la NASA descubrió que había helio en el universo temprano antes de que hubiera estrellas.

Además de los tres descubrimientos que acabo de mencionar, los astrónomos tienen otras pruebas observacionales de que el universo se ha expandido y ha cambiado con el tiempo. Por ejemplo, las fotografías de mayor calidad del espacio tomadas con el telescopio espacial *Hubble* revelan que las galaxias del universo temprano a menudo eran más pequeñas o más irregulares en forma y que era más probable que colisionaran entre sí que las galaxias actuales. Esta información es coherente con la idea de que entonces el universo era mucho más

pequeño, por lo que las galaxias estaban más cerca entre sí y era más probable que colisionaran. Si el universo se hubiera formado hace poco a partir de un Big Bang, las galaxias habrían sido más jóvenes y más pequeñas.

Estas pruebas dejan claro que el universo está evolucionando de forma coherente con la idea de que empezó con el Big Bang y se ha hecho cada vez más grande con el tiempo.

Por muy exitosa que haya demostrado ser la teoría estándar del Big Bang para explicar las observaciones del cosmos, dicha teoría es sólo un punto de partida para explorar el universo temprano. Por ejemplo, a pesar de su nombre, en la teoría no se sugiere una fuente para la dinamita cósmica que desencadenó el Big Bang.

Inflación: cuando el universo creció

Además de pasar por alto la fuente de la explosión que causó la expansión, la teoría del Big Bang tiene otros defectos. No explica por qué las regiones del universo que están separadas por distancias tan vastas que no pueden comunicarse (ni siquiera por un mensajero que viaje a la velocidad de la luz) son tan similares entre sí.

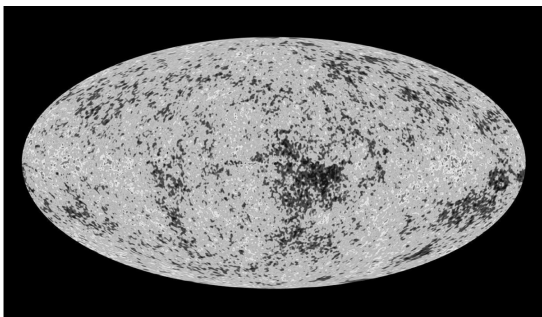
En 1980, el físico Alan Guth elaboró una teoría, que llamó *inflación*, que puede ayudar a explicar este misterio. Sugirió que en una diminuta fracción de segundo después del Big Bang, el universo experimentó un enorme impulso de crecimiento. En sólo 10–32 segundos (cienmillonésima de billonésima de billonésima de segundo), el universo se expandió a una velocidad mucho mayor que en cualquier momento de los 13.700 millones de años que han pasado desde entonces.

Este enorme período de expansión diseminó diminutas regiones (que una vez habían estado en estrecho contacto) hasta los puntos más remotos del universo. En consecuencia, el cosmos tiene la misma apariencia a gran escala, independientemente de la dirección a la que se apunte el telescopio. (Imagina una gran bola de masa con grumos: si trabajas la masa una y otra vez con el rodillo de amasar, al final alisas todos los grumos y creas una capa de pasta uniforme.) De hecho, la inflación expandió diminutas regiones del espacio en volúmenes tan grandes que los astrónomos nunca podrán observarlos. Esta expansión sugiere la fascinante posibilidad de que la inflación creó universos mucho más allá del alcance del nuestro. En lugar de existir un único universo, existen una serie de universos o un multiverso. Sin embargo, no soy partidario de esa teoría. ¡Ya cuesta bastante entender el universo tal como es!

La inflación tuvo otro efecto: el incremento repentino del crecimiento del universo después del Big Bang, infinitesimalmente corto pero

extraordinariamente grande, capturó fluctuaciones subatómicas de energía aleatorias y las aumentó hasta proporciones macroscópicas. Al conservar y ampliar las llamadas *fluctuaciones cuánticas*, la inflación produjo regiones del universo con densidades ligeramente diferentes.

Debido a la inflación y a las fluctuaciones cuánticas, de media algunas regiones del universo contienen más materia y energía que otras. En consecuencia, hay puntos calientes y fríos en la temperatura de la radiación del fondo cósmico de microondas (consulta la figura 16-1). Con el tiempo, la gravedad moldeó estas variaciones formando las telas de araña de los cúmulos de galaxia y los vacíos gigantes que llenan nuestro universo hoy día, tal y como describo en el capítulo 12. Para obtener más información, consulta el apartado “Información universal extraída de la radiación del fondo cósmico de microondas”, que aparece más adelante en este capítulo.



Cortesía de la NASA/WMAP Science Team

Figura 16-1:

Una “fotografía infantil” del universo tomada desde el satélite *WMAP*

En los siguientes apartados, se explican otros aspectos interesantes de la inflación: el vacío en el que la inflación logra su poder y la relación entre la inflación y la forma del universo.

Algo a partir de nada: la inflación y el vacío

Resulta irónico que el depósito de energía que impulsa la inflación proceda de la nada: del *vacío*. Según la teoría cuántica, el vacío del espacio no está vacío. Rebosa de partículas y antipartículas que se crean y se destruyen constantemente. Los teóricos sugieren que, al acceder a esta energía, el Big Bang obtuvo su radiación y energía explosiva.

El vacío tiene otra extraña propiedad: puede ejercer una fuerza repulsiva. En lugar de juntar dos objetos como hace la gravedad, esta fuerza los separa. La fuerza repulsiva del vacío puede haber conducido a la breve pero potente era de la inflación.

Igual que sucede en la economía, la inflación cósmica genera mucho interés. Y esta burbuja no estallará.

La inflación y la forma del universo

El proceso de inflación (como mínimo, en su forma más sencilla) habría impuesto otra condición al universo: hacer que la geometría del universo fuera plana. Este rápido período de expansión habría estirado cualquier curvatura en el cosmos, como un globo que se infla hasta alcanzar una dimensión enorme.

Para que el universo sea plano, debe tener una densidad muy específica llamada *densidad crítica*. Si la densidad del universo es mayor que el valor crítico, la fuerza de la gravedad será lo suficientemente fuerte como para revertir la expansión y, al final, provocará que el universo experimente lo que los astrónomos denominan *Big Crunch* o Gran Implosión.

Este universo se curva sobre sí mismo para formar un espacio cerrado de volumen finito, como la superficie de una esfera. Una nave espacial que viaje en línea recta se encontraría al final en el mismo punto del que zarpó. Los matemáticos llaman a esta geometría *curvatura positiva*.

Si la densidad es menor que el valor crítico, la gravedad nunca puede vencer a la expansión, y el universo continuará creciendo para siempre. Este universo tiene una *curvatura negativa*, con una forma parecida a una silla de montar a caballo.

A pesar de que la teoría de la inflación exige que el universo sea plano, varios tipos de observaciones han revelado que el universo no tiene materia suficiente (tanto materia normal como materia oscura, consulta el capítulo 15) para lograr una densidad crítica.

Por lo tanto, si el universo es plano, la materia, tal y como la conocemos (o como no la conocemos) no es suficiente. Pero, como *Súper Ratón*, ¡la energía puede sacarnos del apuro! De hecho, puede salvar al universo y las investigaciones recientes muestran que lo hace. Los datos que muestra la “imagen infantil del universo” de la figura 16-1 (un mapa celeste de la radiación

de fondo cósmico de microondas según las mediciones del satélite *WMAP*), ha convencido a todos los cosmólogos de que el universo es plano y de que la energía es lo que explica esta característica. Sin embargo, no se trata de la energía que siempre hemos conocido, sino que el héroe sería la energía oscura. Sigue leyendo para descubrir el lado oscuro.

La energía oscura: el acelerador universal

La energía oscura tiene un efecto sorprendente: ejerce una fuerza repulsiva a lo largo del universo. Es todo lo que los científicos conocen sobre ella. No sabemos qué es la energía oscura, así que la definimos mediante su propiedad observable, la fuerza repulsiva. Tras el Big Bang y la inflación, la gravedad ralentizó la expansión del universo. No obstante, a medida que el universo creció, también la materia se propagó por más y más espacio, y el efecto ralentizante de la gravedad perdió fuerza. Al cabo de un tiempo (miles de millones de años), la fuerza repulsiva de la energía oscura se hizo con el control y provocó que el universo se expandiera aún más de prisa. Las observaciones del telescopio *Hubble* y otros telescopios han mostrado este extraño fenómeno.

Las observaciones que revelaron la existencia de la energía oscura (y que mostraron que la expansión del universo se está acelerando) se hicieron a supernovas de tipo Ia en galaxias distantes (encontrarás más información sobre supernovas de Tipo Ia y de otros tipos en el capítulo 11). Todas las supernovas son lo suficientemente brillantes para ser vistas desde galaxias distantes, pero las supernovas Ia presentan una propiedad especial. Los astrónomos creen que todas estas explosiones tienen casi el mismo brillo intrínseco, como bombillas incandescentes de una potencia concreta (consulta el apartado “En una galaxia lejana: candelas estándares y la constante de Hubble” que aparece más adelante en este capítulo).

Como la luz de una galaxia distante tarda cientos de millones de años o más en llegar a la Tierra, las observaciones de esa galaxia pueden mostrar supernovas que entraron en erupción cuando el universo era mucho más joven. Si la expansión del universo hubiera estado disminuyendo desde el Big Bang, habría menos distancia entre la Tierra y la galaxia lejana (y menos tiempo de viaje de la luz) que si el universo hubiera seguido expandiéndose a una velocidad fija. Por eso, en el caso de una expansión más lenta, una supernova de una galaxia distante debería parecer ligeramente más brillante.

Pero en 1998, dos equipos de astrónomos descubrieron el resultado opuesto: las supernovas distantes parecían ligeramente más tenues de lo esperado, como si sus galaxias de origen estuvieran más lejos de lo que se había calculado. Parece que el universo había acelerado su ritmo de expansión. Este descubrimiento

reveló la presencia de energía oscura, tal y como describo en el capítulo 11, y dio el Premio Nobel de Física a los tres astrónomos que habían dirigido la investigación, Saul Perlmutter, Adam Riess y Brian Schmidt.

Información universal extraída de la radiación del fondo cósmico de microondas

El fondo cósmico de microondas (el leve susurro de radiación que quedó del Big Bang) representa una instantánea del universo cuando tenía 379.000 años de edad. Antes de ese momento, el universo estaba dominado por una niebla de electrones y la radiación creada en el Big Bang no podía fluir libremente a través del espacio. Las partículas con carga negativa absorbían la radiación una y otra vez y la esparcían.

Más o menos en el mismo momento en el que el cosmos celebraba su 379.000 cumpleaños, el universo pasó a ser lo suficientemente frío como para que los electrones se combinaran con núcleos atómicos, lo que significa que no abundaban las partículas que esparcieran y absorbieran radiación. La niebla absorbente se disipó. Hoy en día, detectamos la luz del universo a la edad de 379.000 años (con cambios en la longitud de onda por la expansión del universo) como microondas y luz infrarroja lejana.

Encuentra los grumos de la radiación del fondo cósmico de microondas

Cuando Penzias y Wilson detectaron por primera vez la radiación del fondo cósmico de microondas en la década de 1960, parecía tener una temperatura uniforme a través del cielo. Ninguna región del cielo estaba más caliente ni más fría, como mínimo no para los límites de detección de los instrumentos que había disponibles. Aquella uniformidad era un enigma, pues esas diminutas variaciones de la temperatura debían estar presentes para explicar cómo el universo había empezado como una sopa homogénea de partículas y radiación, y había evolucionado hasta llegar a ser una serie grumosa de galaxias, estrellas y planetas.

Según esta teoría, el universo primitivo no era completamente homogéneo. Igual que los grumos de un puré, tenía zonas un poco más o menos densas, con más o menos átomos por centímetro cúbico. Estas zonas representan las semillas diminutas alrededor de las cuales la materia podría haber empezado a agruparse para formar galaxias. Los científicos deberían ver ahora las variaciones de densidad como fluctuaciones diminutas o anisotropías en la temperatura de la radiación del fondo cósmico de microondas (una *anisotropía* es la variación de

las propiedades físicas del espacio, como la temperatura y la densidad, según la dirección en la que se examina).

En 1992, el satélite *COBE* (Cosmic Background Explorer; Explorador de Fondo Cósmico) de la NASA, que tres años antes había medido la temperatura del fondo de microondas con una precisión sin precedentes, logró lo que muchos astrónomos consideran un triunfo todavía mayor: detectó puntos calientes y fríos en la radiación del fondo cósmico de microondas. Las mediciones del satélite COBE dieron el premio Nobel de Física de 2006 a mi colega de la NASA John Mather y a George Smoot, de la Universidad de California (Berkeley).

Las variaciones son minúsculas (menos de una diezmilésima de un grado kelvin más frío o más caliente que la temperatura media de 2,73 °C). La princesa que notaba un guisante bajo todos aquellos colchones no habría percibido estas diferencias. Sin embargo, estas variaciones cósmicas son lo suficientemente grandes como para explicar el crecimiento de la estructura del universo. Puedes reflexionar largo y tendido sobre este tema.

Mapa del universo con la radiación del fondo cósmico de microondas

Para averiguar si el universo es plano o tiene forma de silla de montar, los científicos buscaron respuestas en la radiación del fondo cósmico de microondas. Un universo plano exigiría que las fluctuaciones de temperatura siguieran un patrón. Una gran cantidad de telescopios con globos y base en tierra sugerían que el fondo de microondas podría tener este patrón.

En 2003, la NASA informó de que su sonda *WMAP* había medido y trazado un mapa del fondo de microondas por todo el cielo con más detalles que nunca. El equipo de la sonda *WMAP*, dirigido por Charles Bennett, respondió la mayor parte de las preguntas existentes sobre el Big Bang excepto qué lo provocó y qué es exactamente la energía oscura. El equipo llegó a las siguientes conclusiones:

- ✓ La edad actual del universo es de 13.700 millones de años (posteriormente, el equipo de la *WMAP* afirmó que era de 13.730 millones de años, y algunos expertos la cifran en 13.740 millones de años).
- ✓ La radiación del fondo cósmico de microondas se originó cuando el universo tenía 379.000 años.
- ✓ Las primeras estrellas empezaron a brillar aproximadamente unos 200 millones de años después del Big Bang.
- ✓ El universo es plano, algo que es coherente con la teoría de la inflación

(consulta el apartado “Inflación: cuando el universo creció”, anteriormente en este capítulo).

✓ Las cantidades relativas de masa y energía del universo son las siguientes:

- Materia normal (materia oscura bariónica como la que se encuentra en la Tierra): 4 %.
- Materia oscura (consulta el capítulo 15): 23 %.
- Energía oscura: 73 %.

Los científicos habían hecho estimaciones de todas estas cantidades, pero ahora disponen de valores precisos.



Puedes leer toda la información relativa a la sonda *WMAP* y sus descubrimientos en la web oficial de esta sonda en el Centro de Vuelo Espacial Goddard: <http://map.gsfc.nasa.gov>. Encontrarás animaciones que explican la evolución del universo y otros temas cósmicos.

En una galaxia lejana: candelas estándares y la constante de Hubble

Una de las preguntas tradicionales de astronomía era “¿Qué edad tiene el universo?”. Ahora, gracias a la sonda *WMAP*, el telescopio espacial *Hubble* y otros instrumentos, sabemos que la respuesta es 13.730 millones de años. ¿Cómo han averiguado este número mágico los científicos? Se basaron en información relacionada con la expansión del universo: candelas estándares, que utilizan los astrónomos para medir las distancias de las galaxias; y la constante de Hubble, que relaciona las distancias de las galaxias con la velocidad a la que se expande el universo. Comento estos temas en los siguientes apartados.

Candelas estándares: ¿cómo miden los científicos la distancia que hay entre las galaxias?

La mayoría de las estrategias para medir distancias exigen algún tipo de *candela estándar*, el equivalente cósmico a una bombilla de potencia conocida.

Por ejemplo, supongamos que crees que conoces el brillo verdadero, o luminosidad, de un tipo de estrella. La luz de una fuente distante se atenúa en proporción con el cuadrado de la distancia, así que el brillo aparente de una estrella del mismo tipo en una galaxia distante indica lo lejos que está la galaxia.

Las estrellas amarillentas y pulsantes conocidas como *variables Cefeidas* siguen siendo una de las candelas estándares más fiables para estimar la distancia que hay hasta galaxias relativamente próximas (consulta el capítulo 12). Estas estrellas jóvenes brillan y se atenúan periódicamente. En 1912, Henrietta Leavitt, del Harvard College Observatory, detectó que la rapidez con la que las Cefeidas cambian su brillo está directamente relacionada con su luminosidad verdadera. Cuanto más largo sea el período, mayor será la luminosidad. Ha pasado un siglo desde el descubrimiento de Leavitt y los astrónomos todavía utilizan las Cefeidas para medir distancias en el espacio.

Las supernovas de tipo Ia (consulta el capítulo 11) son otra clase de candela estándar. Como las supernovas son mucho más brillantes que las Cefeidas, las podemos observar en galaxias mucho más distantes. En los cálculos recientes de la constante de Hubble se emplearon estas dos candelas y se lograron resultados que encajan entre sí y con los datos del satélite *WMAP*.

La constante de Hubble: ¿a qué velocidad se mueven las galaxias?

Las estimaciones de la edad del cosmos han dependido de un número que ha atraído la atención de los astrónomos durante décadas: la constante de Hubble, que representa la velocidad a la que se expande el universo en la actualidad. El número recibió este nombre en honor a Edwin Hubble, que descubrió que vivimos en un universo en expansión. Hubble hizo un descubrimiento extraordinario: toda galaxia distante (las que están más allá del Grupo Local de Galaxias, que describo en el capítulo 12) parece estar alejándose velozmente de la nuestra, la Vía Láctea.

Hubble descubrió que, cuanto más remota es la galaxia, más rápido retrocede. Esta relación se conoce como *ley de Hubble*. Por ejemplo, consideremos dos galaxias, una de las cuales se halla al doble de distancia de la Vía Láctea que la otra. La galaxia que está dos veces más lejos parece moverse dos veces más rápido (según la teoría de la relatividad general de Albert Einstein, las galaxias no se mueven, sino que es el entramado de espacio en el que residen el que se expande).



La constante de proporcionalidad que relaciona la distancia de

una galaxia con su velocidad de recesión es la *constante de Hubble*, también denominada *Ho*. Es decir, la velocidad a la que una galaxia se aleja es igual a *Ho* multiplicada por la distancia a la galaxia. *Ho* proporciona una medida de la velocidad de la expansión del universo y, por tanto, de su edad (si sabes lo lejos que está una galaxia ahora y la velocidad a la que se ha estado moviendo, puedes calcular cuánto ha tardado en recorrer esa distancia). Según la teoría del Big Bang, el universo una vez tuvo un tamaño infinitesimal y entonces el espacio empezó a expandirse. Los puntos del espacio en los que estamos ahora y en los que está una galaxia concreta una vez estuvieron uno encima del otro, pero a medida que el universo envejecía, los puntos se separaron. El tiempo que tardaron en recorrer la distancia que los separa ahora es la edad del universo.



La constante de Hubble se mide en kilómetros por segundo por megapársec (un megapársec es 3,26 millones de años luz). Después de años de estudio, los astrónomos que utilizaban el telescopio espacial *Hubble* informaron de un valor de 70 para la constante de Hubble. Ese número significa que una galaxia que está a unos 30 megapársecs (alrededor de 100 millones de años luz) de la Tierra se aleja a 2.100 kilómetros por segundo. Según los descubrimientos del *WMAP*, el valor es 71; es un acuerdo bastante bueno, a pesar de que otras observaciones recientes sugieren que la constante de Hubble podría llegar a ser de 74.

Gracias a las candelas estándares y a la constante de Hubble, ahora los astrónomos disponen de datos fiables sobre la velocidad de expansión actual del universo, y sabemos que la energía oscura está aumentando esa velocidad de expansión. Sin embargo, la naturaleza de la energía oscura sigue siendo un misterio profundo y oscuro.

El destino del universo

La energía oscura hace que, a medida que pasa el tiempo, el universo se expanda cada vez más de prisa. Por lo tanto, la constante de Hubble no es constante durante mucho tiempo, sino que crece. Es decir, la constante de Hubble es más bien “la inconstante de Hubble”.

Al expandirse el universo cada vez a mayor velocidad, llegará un momento en el que otras galaxias se separarán de nosotros a una velocidad mayor que la velocidad de la luz. Al leer la frase anterior, puede que hayas pensado: “Espera, en el capítulo 13 nos dijiste que las cosas no pueden ir más rápido que la velocidad de la luz, excepto los taquiones, unas partículas que quizá ni siquiera

existen. Entonces, ¿qué ocurre con estas galaxias?”.

La respuesta es que, algún día, dentro de billones de años en el futuro, las galaxias que se muevan a una velocidad mayor que la velocidad de la luz no se estarán moviendo por sí mismas. Recuerda que al principio de este capítulo te conté que el Big Bang era “el origen y la rápida expansión del espacio en sí mismo”. Las aparentemente grandes velocidades de las galaxias que se alejan las unas de las otras a gran velocidad no son movimientos reales de las galaxias, sino que están provocadas por la expansión del espacio en sí. El espacio no es materia, y puede ir tan de prisa como la energía oscura haga que se expanda.

Cuando esas otras galaxias se muevan a una velocidad superior a la velocidad de la luz, su luz ya no llegará a la Vía Láctea. El Sol habrá desaparecido mucho antes de que eso ocurra, puesto que de aquí a 4.000 millones de años ya habrá agotado su núcleo de hidrógeno (consulta el capítulo 11 para más obtener información) y poco después se convertirá en una gigante roja, perderá sus capas más externas y se apagará como enana blanca. Pero puede que haya otras estrellas de la Vía Láctea que todavía resistan, con planetas e incluso con seres inteligentes. Esos extraterrestres no verán las galaxias cuya luz no les llegue. El universo estará a oscuras.

En el pasado, los astrónomos pensaban que el universo permanecería tal y como lo conocemos hasta un futuro lejano. Sin embargo, el descubrimiento de la energía oscura cambió esta idea. Tal y como afirma la célebre frase de Yogi Berra: “El futuro ya no es lo que era”.

Ron Cowen escribe artículos sobre astronomía y el espacio para muchas publicaciones y elaboró este capítulo para la primera edición del libro. El autor, Stephen P. Maran, lo actualizó para las ediciones posteriores de Astronomía para Dummies. Todas las opiniones expresadas en este capítulo pertenecen al autor.

Parte V

Los decálogos

The 5th Wave

Rich Tennant



En esta parte...

¿Alguna vez has estado en una reunión social pensando en algo interesante y original que decir? Buscas en tu cerebro alguna idea que atraiga a mucho público para que todo el mundo se fije en tu capacidad intelectual. Bueno, después de leer *Los decálogos*, estarás listo para la siguiente conversación. Te ofrezco diez hechos extraños sobre el espacio que te garantizo que despertarán interés. Para acabar, te presento diez grandes errores sobre astronomía que comete (y sigue cometiendo) tanto la gente como los medios de comunicación.

Capítulo 17

Diez hechos extraños sobre la astronomía y el espacio

En este capítulo

- ▶ Descubrirás la verdad sobre las colas de los cometas, las rocas de Marte, los micrometeoritos y el Big Bang en el televisor
 - ▶ Averiguarás por qué el descubrimiento de Plutón fue un accidente, por qué las manchas solares no son oscuras y por qué la lluvia nunca llega al suelo en Venus
 - ▶ Explorarás los mitos sobre las mareas, las estrellas en explosión y lo única que es la Tierra
-

Voy a mostrarte algunos de mis hechos preferidos sobre astronomía y, en concreto, sobre la Tierra y su Sistema Solar. Cuando domines la siguiente información, ya podrás responder a las preguntas de astronomía de los concursos de televisión y de amigos y familiares.

Tienes diminutos meteoritos en el pelo

Los *micrometeoritos*, diminutas partículas del espacio visibles a través de microscopios, caen constantemente en la Tierra. Algunos caen sobre ti cuando estás al aire libre, pero sin las técnicas de análisis y el equipo de laboratorio más avanzados, no los puedes detectar. Se pierden en la gran masa de polen, partículas de contaminación, polvo del hogar y (siento decirlo) caspa que reside en la parte superior de tu cabeza. (Consulta el capítulo 4 para ver información detallada sobre meteoritos de todos los tamaños.)

La cola de un cometa suele señalar el camino

La cola de un cometa no es como la cola de un caballo, que siempre va detrás cuando el caballo galopa hacia adelante. La cola de un cometa siempre apunta en dirección opuesta al Sol. Cuando un cometa se acerca al Sol, su cola o colas, van detrás; en cambio, cuando el cometa retrocede en el Sistema Solar, la cola va por delante señalando el camino. (Consulta el capítulo 4 para obtener más información sobre cometas.)

La Tierra está hecha de materia rara y poco común

La mayoría de la materia del universo es de la llamada *materia oscura*, es decir, una materia invisible que los astrónomos aún no han identificado (consulta el capítulo 15). La materia más común o visible tiene forma de plasma (gas caliente y electrificado del que están formadas estrellas normales como el Sol) o materia degenerada (en la que los átomos o los núcleos de los átomos están aplastados juntos en una densidad inimaginable, tal y como se encuentran en las enanas blancas y las estrellas de neutrones; consulta el capítulo 11). No encontrarás materia oscura, materia degenerada ni mucho plasma en la Tierra. En comparación con la mayor parte del universo, la Tierra y los terrícolas son alienígenas. (Consulta el capítulo 5 para obtener más información sobre las propiedades únicas de la Tierra.)

La marea alta llega a ambos lados de la Tierra al mismo tiempo

Las mareas oceánicas del lado de la Tierra que está de cara a la Luna no son apreciablemente superiores a las mareas del lado opuesto de la Tierra. Esto quizá parezca ir contra el sentido común, pero según el análisis matemático y físico es así (lo mismo sucede con las mareas oceánicas menores provocadas por el Sol). Consulta el capítulo 5 para obtener más información sobre la Luna.

En Venus, la lluvia nunca cae en la llanura

De hecho, la lluvia constante en Venus nunca cae encima de nada porque se evapora antes de llegar al suelo, y la lluvia es puro ácido (el nombre común para designar la lluvia que se evapora es *virga*; consulta el capítulo 6 para obtener más información sobre Venus).

Las rocas de Marte salpican la Tierra

Se han encontrado unos cien meteoritos en la Tierra que proceden de la corteza de Marte, arrojados de ese planeta por los impactos de objetos mayores (quizá del cinturón de asteroides). Consulta el capítulo 7 para obtener información sobre asteroides. Desde el punto de vista estadístico, muchas más rocas de Marte sin descubrir deben de haber caído en el océano o aterrizado en lugares apartados en los que no se han detectado (consulta el capítulo 6 si deseas conocer mejor Marte).

Plutón fue descubierto por las predicciones de una teoría falsa

Percival Lowell predijo la existencia y la ubicación aproximada del objeto que ahora llamamos Plutón. Cuando Clyde Tombaugh estudiaba esta región, descubrió Plutón. Sin embargo, ahora los científicos saben que la teoría de Lowell, que infirió la existencia de Plutón a partir de sus efectos gravitacionales en el movimiento de Urano, era incorrecta. De hecho, la masa de Plutón es demasiado pequeña para producir los efectos “observados”. Además, los “efectos gravitacionales” eran errores de medición del movimiento de Urano (no había suficiente información disponible sobre el movimiento de Neptuno para estudiarlo y obtener pistas). El descubrimiento de Plutón se hizo gracias a un arduo trabajo, pero, tal y como sucedió, fue fruto de la suerte. Y a pesar de que Lowell predijo la existencia de un planeta, como al principio consideraron a Plutón, la Unión Astronómica Internacional lo ha catalogado como planeta enano. (Consulta el capítulo 9 si quieres obtener más información sobre Plutón.)

Las manchas solares no son oscuras

Casi todo el mundo “sabe” que las manchas solares son manchas “oscuras” que hay en el Sol. En realidad, las manchas solares son sólo lugares en los que el gas solar caliente está ligeramente más frío que su área circundante (consulta el capítulo 10 para obtener más información al respecto). Las manchas parecen oscuras en comparación con su área circundante, que está más caliente, pero si todo lo que puedes ver es la mancha solar, parece brillante.

Una estrella que se ve a simple vista puede haber explotado, pero nadie lo sabe

Eta Carinae es una de las estrellas más masivas y ferozmente brillantes de nuestra galaxia, y los astrónomos esperan que produzca una potente explosión de

supernova en cualquier momento, si es que no ha explotado ya. Como la luz tarda unos 8.000 años en viajar desde Eta Carinae a la Tierra, una explosión que se hubiera producido mucho antes que esa enorme cantidad de años aún no sería visible para nosotros. (Consulta el capítulo 11 para descubrir más información sobre los ciclos de vida de las estrellas.)

Quizá hayas presenciado el Big Bang en un viejo televisor

Parte de la “nieve” (un patrón de interferencia que parece pequeños puntos blancos de los viejos aparatos de televisión) eran en realidad ondas de radio que recibía la antena del televisor de la radiación del fondo cósmico de microondas, un brillo del principio del universo posterior al Big Bang (consulta el capítulo 16). Cuando se descubrió esta radiación en los Bell Telephone Laboratories, los científicos estudiaron muchas causas posibles del “ruido” inesperado del receptor de radio. Incluso investigaron si los excrementos de paloma podían ser una posible causa pero acabaron desestimando esta idea.

Capítulo 18

Diez errores comunes sobre la astronomía y el espacio

En este capítulo

- ▶ Examinarás errores frecuentes sobre astronomía
 - ▶ Corregirás los errores que aparecen en las noticias y en los medios de comunicación
-

En tu vida cotidiana, al leer el periódico, ver las noticias de noche, navegar por internet o hablar con los amigos, puedes encontrarte con muchas ideas erróneas sobre astronomía. En este capítulo, te explico cuáles son los errores más habituales.

“La luz de esa estrella tardó 1.000 años luz en llegar a la Tierra”

Muchas personas creen que el año luz es una unidad de tiempo, como un día, un mes o un año normal, pero un año luz es una unidad de distancia. Es igual a la longitud que recorre la luz en el vacío durante un año. (Consulta el capítulo 1.)

Un meteorito que acaba de caer aún está caliente

De hecho, los meteoritos que acaban de caer están fríos; a veces, se forma una escarcha helada (por el contacto con la humedad del aire) en una piedra muy fría que acabe de aterrizar. Cuando un testigo ocular afirma que ha visto caer un meteorito en el suelo y que se ha quemado los dedos al tocar la roca, puede que la historia sea un montaje. (Consulta el capítulo 4 para obtener más información sobre meteoritos.)

El verano siempre llega cuando la Tierra está más cerca del Sol

La creencia de que el verano llega cuando la Tierra está más cerca del Sol es uno de los errores más habituales, pero, por sentido común, deberías saber que esta idea es falsa. Al fin y al cabo, en Australia es invierno cuando en Estados Unidos es verano. En un día cualquiera, Australia está tan lejos del Sol como Estados Unidos. De hecho, la Tierra está más cerca del Sol en enero y más lejos en julio. (Consulta el capítulo 5 para obtener más información respecto a las estaciones).

La parte posterior de la Luna es oscura

Hay quien piensa que la parte posterior de la Luna, la que no está frente a la Tierra (los astrónomos la llaman “cara oculta”) es oscura. A veces, la cara oculta está oscura, otras veces es brillante, y gran parte del tiempo es oscura y luego brillante. Así, la cara alejada de la Luna es como la cara cercana, la que da a la Tierra. Cuando vemos la luna llena, la cara cercana brilla y la cara oculta está oscura. Cuando hay luna nueva, cuando la cara de la Luna que da a la Tierra está oscura, la cara alejada de la Luna está brillante. Si pudiéramos ver la cara alejada, parecería una luna llena. Para obtener más información sobre la Luna y sus fases, consulta el capítulo 5.

El “lucero del alba” es una estrella

El “lucero del alba” no es una estrella, siempre es un planeta. A veces, aparecen dos luceros del alba al mismo tiempo, por ejemplo, Mercurio y Venus (consulta el capítulo 6). La misma idea es válida para el “lucero vespertino”: lo que ves es un planeta, y quizá veas más de uno. El nombre de “estrella fugaz” también es impropio. En realidad, estas “estrellas” son meteoros, destellos de luz provocados por pequeños meteoroides que caen en la atmósfera de la Tierra (consulta el capítulo 4). Muchas de las “superestrellas” que ves en la tele puede que sean flores de un día, pero, al menos, consiguen sus quince minutos de gloria.

Si vas de vacaciones al cinturón de asteroides, verás asteroides por todas partes

Prácticamente en todas las películas sobre viajes espaciales hay alguna escena en la que el intrépido piloto de la nave esquivo hábilmente cientos de

asteroides que pasan a toda velocidad en todas direcciones, a veces, hasta cinco al mismo tiempo. Los cineastas no entienden lo vasto que es el Sistema Solar, o no lo tienen en cuenta para aumentar el dramatismo de la película. Si estuvieras en un asteroide justo en medio del cinturón de asteroides principal entre Marte y Júpiter, tendrías suerte si vieras más de uno o dos asteroides, si vieras alguno a simple vista. (Consulta el capítulo 7 para obtener más información sobre asteroides.)

Destruir con armas nucleares un “asteroide asesino” que va a chocar contra la Tierra nos salvará

Existen muchos errores sobre los asteroides, y varias películas de Hollywood y catastróficos informes de los medios de comunicación sobre “asteroides asesinos” han ofrecido amplias y desafortunadas oportunidades de reforzar estos malentendidos entre el público.

Hacer explotar un asteroide que intente chocar contra la Tierra con una bomba atómica crearía rocas más pequeñas y, en conjunto, igual de peligrosas, que seguirían dirigiéndose hacia nuestro planeta. Una idea menos arriesgada sería adherir un cohete que propulsara suavemente el asteroide hacia adelante o hacia atrás en su órbita, dirigiéndola para que no llegara al mismo lugar en el espacio que la Tierra al mismo tiempo. Aún mejor, podríamos lanzar uno de los denominados satélites tractores de gravedad para impulsar el asteroide desde su trayectoria original para que no llegase a la Tierra. (Explico el método de los tractores de gravedad en el capítulo 7.)

El Sol es una estrella más

A menudo se oye o se lee que el Sol es una estrella corriente, pero en realidad, la mayoría de las estrellas son más pequeñas, más tenues, más frías y menos masivas que nuestro Sol (consulta el capítulo 10 para obtener más información sobre este tema). ¡Debemos estar orgullosos del Sol! Es como un niño del mítico Lago Wobegon, donde todos los niños están “por encima de la media”.

El telescopio *Hubble* consigue acortar al máximo las distancias

El telescopio espacial *Hubble* no hace esas preciosas fotografías volando a través del espacio hasta que flota junto a nebulosas, cúmulos de estrellas y

galaxias (consulta el capítulo 12). El *Hubble* permanece en una órbita alrededor de la Tierra, y hace fantásticas fotos gracias a que dispone de una óptica increíblemente bien hecha y a que orbita lejos de las partes de la atmósfera terrestre que hacen que nuestra visión desde telescopios en el suelo sea borrosa.

El Big Bang ha muerto

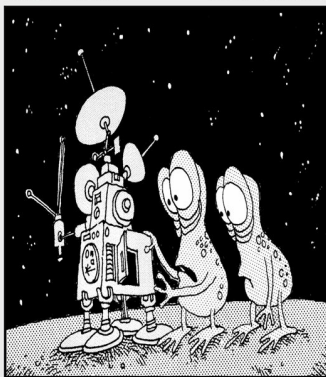
Cuando un astrónomo informa de un descubrimiento que no encaja en la comprensión actual de la cosmología, los medios de comunicación tienden a afirmar: “El Big Bang ha muerto”. (Consulta el capítulo 16 para ver una explicación del Big Bang.) Sin embargo, los astrónomos simplemente encuentran diferencias entre la expansión observada del universo y descripciones matemáticas específicas de éste. Las teorías que hacen la competencia (que incluyen una que encaja en los nuevos datos que se han ofrecido) concuerdan con el Big Bang; sólo difieren en los detalles.

Parte VI

Apéndices

The 5th Wave

Rich Tennant



ES OTRA SONDA DE LA TIERRA QUE INTENTA
ESTABLECER CONTACTO CON LOS EXTRATERRESTRES.
¡OJALÁ SE HUBIERAN ACORDADO DE INCLUIR
UNA DIRECCIÓN DE E-MAIL!

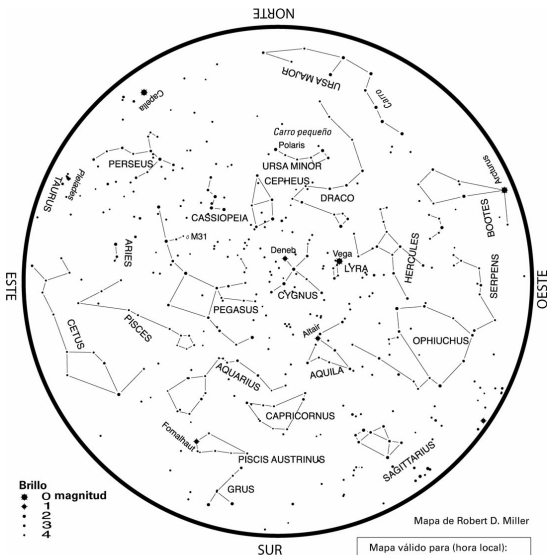
En esta parte...

Los dos apéndices de esta parte ofrecen información para mejorar tu experiencia de observación del cielo y te indican cómo explorar otros libros, artículos o textos en línea sobre la astronomía y el espacio. En el primer apéndice encontrarás mapas que te ayudarán a localizar las constelaciones y estrellas interesantes. En el segundo, incluyo un glosario con definiciones sencillas de algunos términos de astronomía que puedes utilizar mientras disfrutas de tu afición de observar el cielo.

Apéndice A

Mapas de estrellas

Las siguientes páginas contienen ocho mapas de estrellas (cuatro del hemisferio norte y cuatro del hemisferio sur) para que empieces a adentrarte en tu camino hacia las estrellas.

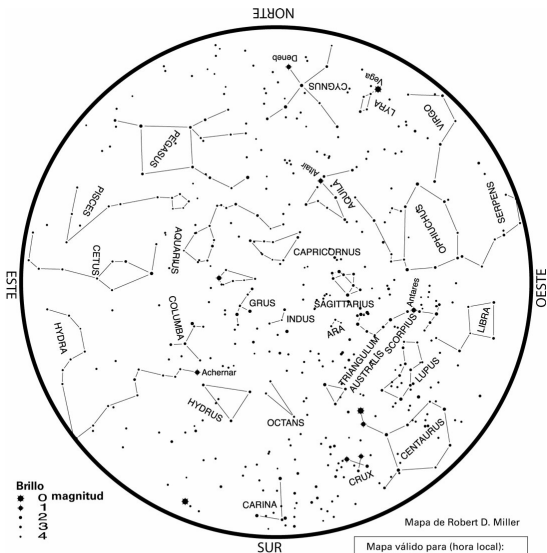


SUR

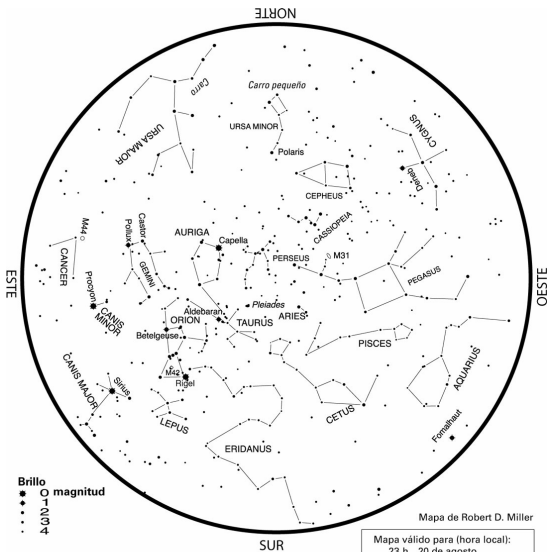
Este mapa está indicado para utilizarse en lugares situados a 35° de latitud norte, pero es útil para toda la península Ibérica, Baleares y las islas Canarias.

Mapa válido para (hora local):

23 h	20 de agosto
22 h	5 de setiembre
21 h	21 de setiembre
20 h	5 de octubre

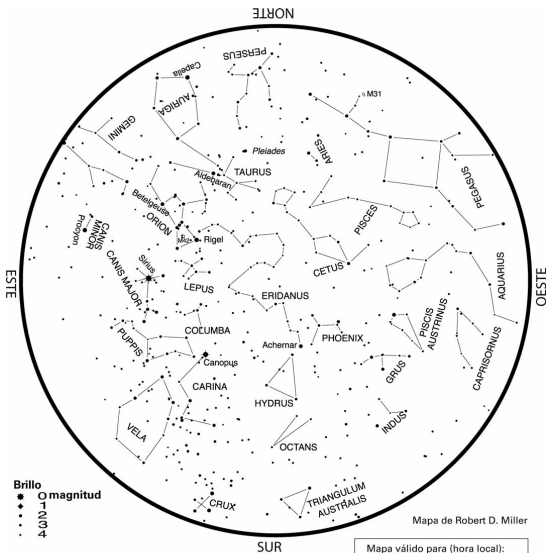


Este mapa es válido para lugares situados a 35° de latitud sur, pero es útil para la mayoría de los observadores del hemisferio sur.



Este mapa es adecuado para lugares situados a 35° de latitud norte, pero es útil para toda la península Ibérica, Baleares y las islas Canarias.

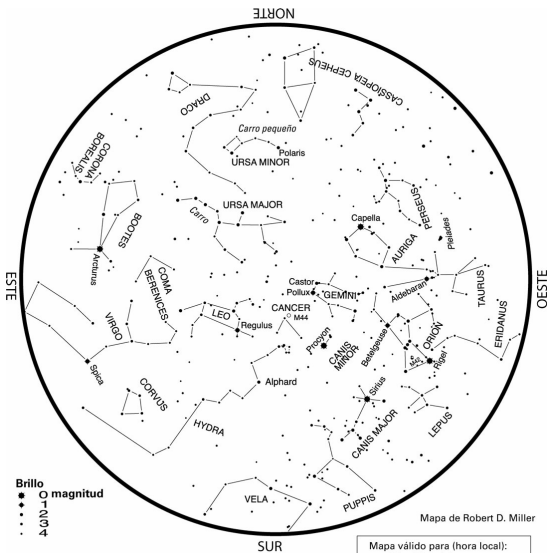
Mapa válido para (hora local):
 23 h 20 de agosto
 22 h 5 de setiembre
 21 h 21 de setiembre
 20 h 5 de octubre



Este mapa es válido para lugares situados a 35° de latitud sur, pero es útil para la mayoría de los observadores del hemisferio sur.

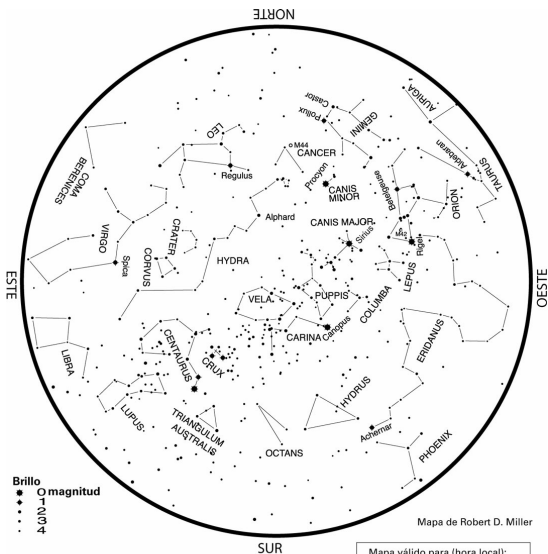
Mapa válido para (hora local):

23 h	20 de noviembre
22 h	7 de diciembre
21 h	21 de diciembre
20 h	6 de enero



Este mapa es adecuado para lugares situados a 35° de latitud norte, pero es útil para toda la península Ibérica, Baleares y las islas Canarias.

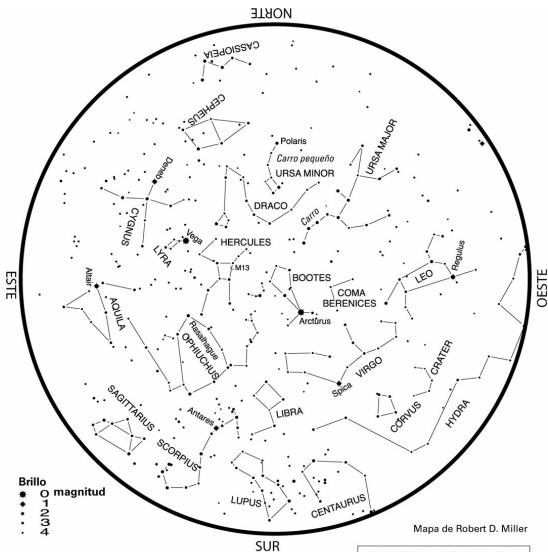
Mapa válido para (hora local):
 23 h 19 de febrero
 22 h 6 de marzo
 21 h 21 de marzo
 20 h 5 de abril



Este mapa es válido para lugares situados a 35° de latitud sur, pero es útil para la mayoría de los observadores del hemisferio sur.

Mapa válido para (hora local):

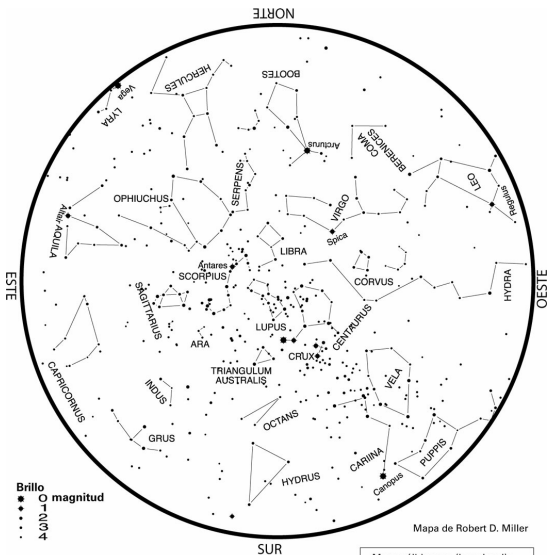
23 h	19 de febrero
22 h	6 de marzo
21 h	21 de marzo
20 h	5 de abril



Este mapa es válido para lugares situados a 35° de latitud norte, pero es útil para toda la península Ibérica, Baleares y las islas Canarias.

Mapa válido para (hora local):

12 h	6 de mayo
23 h	21 de mayo
22 h	6 de junio
21 h	21 de junio



Mapa válido para (hora local):

12 h	6 de mayo
23 h	21 de mayo
22 h	6 de junio
21 h	21 de junio

Este mapa es válido para lugares situados a 35° de latitud sur, pero es útil para la mayoría de los observadores del hemisferio sur.

Apéndice B

Glosario

Actividad solar: Cambios en la apariencia (y en la radiación) del Sol que se producen de un segundo a otro, de un minuto a otro, de una hora a otra, e incluso de un año a otro. Incluye erupciones como fulguraciones solares, expulsiones de masa coronal y otras características como las manchas solares.

Agujero negro: Objeto con una gravedad tan fuerte que nada puede escapar de su interior, ni siquiera un rayo de luz.

Antimateria: Materia compuesta por antipartículas que tienen la misma masa pero carga eléctrica opuesta a la de las partículas comunes.

Asterismo: Grupo de estrellas que ha recibido un nombre, como el Gran Carro, y que no es una de las 88 constelaciones oficiales.

Asteroide: Uno de los muchos cuerpos pequeños, rocosos y/o metálicos que orbitan alrededor del Sol.

Aurora: Fenómeno luminoso que aparece en las capas más altas de la atmósfera de la Tierra o de otro planeta, producido por la colisión de partículas cargadas eléctricamente con átomos y moléculas gaseosas.

Bola de fuego: Meteoro muy brillante.

Bólide: Meteoro muy brillante que parece explotar o que produce un ruido enorme.

Cénit: Punto en el cielo que está directamente por encima del observador.

Cometa: Uno de los muchos cuerpos pequeños formados por hielo y polvo que orbitan alrededor del Sol.

Constelación: Cualquiera de las 88 regiones del cielo que normalmente reciben el nombre de un animal, objeto o divinidad de la Antigüedad (por ejemplo, Ursa Major, la Osa Mayor).

Cráter: Depresión circular en la superficie de un planeta, luna o asteroide creada por el impacto de un cuerpo que cae, una erupción volcánica o el hundimiento de una zona.

Cúmulo de estrellas: Grupo de estrellas unidas por su atracción gravitacional mutua que se formaron casi; al mismo tiempo (los tipos de cúmulo incluyen

cúmulos globulares y cúmulos abiertos).

Desplazamiento al rojo: Aumento de la longitud de onda de la luz o el sonido, a menudo debido al efecto Doppler o, en caso de galaxias distantes, a la expansión del universo.

Eclipse: Desaparición parcial (eclipse parcial) o total (eclipse total) de un cuerpo celeste cuando otro objeto pasa por delante o cuando se mueve hasta la sombra de otro objeto.

Eclíptica: Recorrido aparente del Sol contra el fondo de las constelaciones.

Efecto Doppler: Proceso por el cual la luz o el sonido se alternan en una frecuencia percibida o en una longitud de onda por el movimiento de su fuente respecto al observador.

Enana blanca: Objeto pequeño y denso que brilla a partir del calor almacenado y que, por lo tanto, se apaga lentamente; etapa final de la vida de una estrella similar al Sol.

Energía oscura: Proceso físico sin explicación que actúa como si fuera una fuerza repulsiva que provoca que el universo se expanda a un ritmo cada vez mayor a medida que pasa el tiempo.

Estallido de rayos gamma: Explosión intensa de rayos gamma que llega inesperadamente desde un punto aleatorio del universo lejano.

Estrella binaria: Dos estrellas que orbitan alrededor de un centro común de masa en el espacio; también reciben el nombre de *sistema binario*.

Estrella de neutrones: Objeto que sólo mide unas decenas de kilómetros de ancho pero cuya masa es superior a la del Sol (todos los púlsares son estrellas de neutrones, pero no todas las estrellas de neutrones son púlsares).

Estrella doble: Dos estrellas que aparecen muy cerca la una de la otra en el cielo y que pueden estar asociadas físicamente (estrella binaria) o no tener relación entre sí y estar a distintas distancias de la Tierra.

Estrella variable: Estrella que cambia perceptiblemente su brillo.

Estrella: Gran masa de gas caliente unida por su propia gravedad y alimentada por reacciones nucleares.

Exoplaneta: Planeta de una estrella que no sea el Sol. También recibe el nombre de *planeta extrasolar*.

Galaxia: Enorme sistema de miles de millones de estrellas, a veces con vastas cantidades de gas y polvo.

Gigante roja: Estrella grande y muy brillante que posee una temperatura de superficie baja; también es una etapa tardía de la vida de una estrella similar al Sol.

Mancha solar: Zona relativamente fría y oscura en la superficie visible del Sol, causada por el magnetismo.

Materia oscura: Una o más sustancias desconocidas del espacio que ejercen una fuerza gravitacional sobre objetos celestes. Es la forma que tienen los

astrónomos para detectar su existencia.

Meteorito: Meteoróide que ha aterrizado en la Tierra.

Meteoro: Flash de luz causado por la caída de un meteoróide a través de la atmósfera de la Tierra. El término *meteoro* suele utilizarse incorrectamente para referirse al meteoróide.

Meteoróide: Roca espacial compuesta por piedra y/o metal; probablemente sea un fragmento de asteroide.

Nebulosa planetaria: Nube de gas brillante y en expansión que fue expulsada al final de la vida de una estrella similar al Sol.

Nebulosa: Nube de gas y polvo en el espacio que puede emitir, reflejar y/o absorber luz.

NEO (*Near Earth Object*) objeto cercano a la Tierra: Asteroide o cometa que sigue una órbita que lo aproxima a la órbita de la Tierra alrededor del Sol.

Neutrino: Partícula subatómica de masa extremadamente pequeña que no tiene carga eléctrica. Puede pasar a través de un planeta entero o a través del Sol.

Ocultación: Proceso por el cual un cuerpo celeste oculta a otro cuerpo, lo que impide que el observador pueda ver a este último.

Órbita: Camino seguido por un cuerpo celeste o una nave espacial.

Planeta enano: Objeto que orbita alrededor del Sol que no es la luna de un planeta, lo suficientemente masivo como para que su propia gravedad lo haga circular, y que no ha limpiado su órbita de otros cuerpos pequeños. Plutón es un planeta enano.

Planeta: Objeto grande y circular que se forma en una nube achatada alrededor de una estrella y, a diferencia de una estrella, no genera energía mediante reacciones nucleares.

Púlsar: Objeto que gira a una velocidad elevada, diminuto e inmensamente denso, que emite luz, ondas de radio y/o rayos X en uno o más haces similares al haz de luz de un faro.

Quasar: Objeto pequeño y extremadamente brillante en el centro de una galaxia distante; se cree que representa la emisión de mucha energía de las zonas circundantes de un gigante agujero negro.

Rotación: Giro de un objeto alrededor de un eje que lo atraviesa.

Seeing: Medida de la estabilidad del aire en un lugar de observación astronómica (cuando la observación es buena, las imágenes que se ven a través de los telescopios son más nítidas).

SETI: Búsqueda de inteligencia extraterrestre, programa de observación de radioastronomía (y de otro tipo) cuyo objetivo es detectar mensajes de civilizaciones inteligentes de otros puntos del espacio.

Supernova: Inmensa explosión que afecta a toda una estrella y que puede formar un agujero negro o una estrella de neutrones.

Terminador: Línea que separa las partes iluminadas y oscuras de un cuerpo

celeste que brilla por la luz reflejada.

Tipo espectral: Clasificación aplicada a una estrella basada en la apariencia de su espectro, normalmente relacionada con la temperatura de la zona en la que se origina la luz visible de la estrella.

Tránsito: Movimiento de un objeto más pequeño, como Mercurio, ante uno más grande, como el Sol.

Medidas celestes

Año luz: Distancia que recorre la luz en un vacío (por ejemplo, a través del espacio) en un año, alrededor de 9,5 billones de kilómetros.

Ascensión recta: En el cielo, coordenada que corresponde a la longitud en la Tierra y que se mide hacia el este desde el equinoccio de primavera (punto en el cielo en el que el ecuador celeste cruza la eclíptica y en el que está situado el Sol el primer día de primavera en el hemisferio norte).

Declinación: En el cielo, coordenada que corresponde a la latitud de la Tierra y que se mide en grados norte o sur respecto al ecuador celeste.

Magnitud: Medida del brillo relativo de las estrellas en el que las magnitudes más pequeñas corresponden a las estrellas más brillantes. Por ejemplo, una estrella de primera magnitud es cien veces más brillante que una estrella de sexta magnitud.

Minutos de arco/segundos de arco: Unidades de medida del cielo. Un círculo completo alrededor del cielo está formado por 360°: cada grado de arco se divide en 60 minutos de arco y, cada minuto, en 60 segundos de arco.

Unidad astronómica (UA): Medida de distancia espacial equivalente a la distancia media entre la Tierra y el Sol, unos 150 millones de kilómetros.



STEPHEN P. MARAN. Doctor en Astronomía que durante treinta y seis años formó parte del programa espacial, ha sido condecorado con la Medalla de la NASA al logro excepcional. Recibió el Premio Klumpke-Roberts de la Sociedad Astronómica del Pacífico por su «extraordinaria contribución a la comprensión y apreciación públicas de la astronomía», el Premio George Van Biesbroeck de la Sociedad Astronómica de Estados Unidos por su «extenso, extraordinario y altruista servicio a la astronomía», y el Premio Andrew W. Gemant del Instituto Norteamericano de Física por su «importante contribución a la dimensión cultural, artística o humanística de la física».

En el año 2000, la Unión Astronómica Internacional bautizó con el nombre de Stephenmaran a un asteroide (Planeta menor 9768) en su honor.

El doctor Stephen P. Maran empezó su andadura astronómica en las azoteas de Brooklyn y en un campo de golf abandonado en los límites del Bronx. Como quería realizar investigaciones profesionales con telescopios, se graduó en el Kitt Peak National Observatory de Arizona, en el Observatorio de Radioastronomía Nacional de la Universidad de Virginia Occidental, en el Observatorio del Monte Palomar de California y en el Observatorio Interamericano de Cerro Tololo de Chile. También llevó a cabo proyectos de investigación en el espacio con instrumentos como el telescopio espacial Hubble y el International Ultraviolet Explorer. Además, ayudó a diseñar y desarrollar dos instrumentos que estuvieron en el espacio a bordo del Hubble.

Ha enseñado Astronomía en la Universidad de California, en Los Ángeles, y

en el College Park de la Universidad de Maryland. Como delegado de prensa de la Sociedad Astronómica de Estados Unidos durante muchos años, presidió las sesiones informativas ante los medios de comunicación que hacían llegar las noticias de los descubrimientos astronómicos a todo el mundo.

Stephen P. Maran ha observado eclipses totales del Sol desde la península de Gaspé y otros puntos de Quebec; desde Baja California, en México; desde el desierto del Sahara, en Libia; desde el mar, en Nueva Caledonia y Singapur, en el Pacífico oriental, y desde las orillas de Estados Unidos.

Ha transmitido sus conocimientos astronómicos de muchas formas. Ha dado charlas sobre agujeros negros en un bar de Tahití, pero también ha explicado un eclipse de Sol en un programa de la NBC. Ha hablado sobre eclipses y cometas a bordo de cruceros para la observación astronómica de las compañías Cunard y Sitmar y del Sinfonía de MSC Cruises. Ha dado charlas ante diversos tipos de público, desde niños de colegios de Seattle y las Girl Scouts de Atherton (California) a la Academia Nacional de Ingeniería de Washington, DC, y a subcomités de la Cámara de Representantes de Estados Unidos y del Comité para Usos Pacíficos del Espacio Extra Atmosférico de las Naciones Unidas.

Maran es también editor y ha publicado solo o en coautoría diez libros sobre la materia, entre los que se incluyen dos trabajos recientes escritos junto a Laurence A. Marschall. Ha escrito numerosos artículos para revistas y ha trabajado como escritor y consultor para la National Geographic Society y Time-Life Books.

El doctor Maran se graduó en la Stuyvesant High School de la ciudad de Nueva York (donde trabajó una temporada en el equipo de Matemáticas sin sufrir daños) y en el Brooklyn College. Obtuvo su máster y su doctorado en Astronomía en la Universidad de Michigan. Está casado con la periodista Sally Scott Maran y tienen tres hijos.