

# A

## **acreción (o acrecimiento)**

Fenómeno por el cual materia, normalmente gas, es atraída por un cuerpo debido a la interacción gravitatoria y pasa a incorporarse al mismo, a veces tras un proceso que implica que el material gire alrededor del objeto central y que puede conllevar la formación de un disco.

Los fenómenos de acreción se observan en contextos muy distintos. Cuando una estrella se está formando a partir del colapso de una nube de gas y polvo llega un momento en que, debido a procesos algo complejos relacionados con la rotación de la nube, parte del material forma un disco alrededor de la estrella en formación, llamado «disco de acreción» o «disco de acrecimiento». Una fracción de ese gas y polvo puede caer sobre la estrella y otra permanecer en el disco, en cuyo seno puede dar lugar a la formación de planetas si se cumplen ciertas condiciones. La acreción se da también, por ejemplo, en sistemas compuestos de dos estrellas (sistemas binarios), cuando la evolución del par de astros hace que uno de ellos «robe» materia de la estrella compañera. A escalas de tamaño mayores se observan fenómenos de acrecimiento alrededor de los agujeros negros supermasivos en el centro de muchas galaxias.

Sobre la duda a la hora de elegir una u otra forma para el término cabe decir que las ediciones más recientes del diccionario de la Real Academia Española definen *acrecimiento* como la «acción y efecto de acrecer» (hacer mayor, aumentar), mientras que *acreción* aparece definida en su sentido técnico, como «crecimiento por adición de materia». *acreción* consta, también, en diccionarios técnicos y científicos. Ambas formas se usan de forma común en astronomía, si bien *acreción* resulta bastante más frecuente.

## **Agencia Espacial Europea**

Organización internacional cuya misión consiste en elaborar el programa espacial europeo y llevarlo a cabo. Los programas de la Agencia se diseñan con el fin de conocer más a fondo la Tierra, el entorno espacial que la rodea, el Sistema Solar y el Universo, así como para desarrollar tecnologías y servicios basados en satélites artificiales y fomentar la industria aeroespacial europea, siempre con fines pacíficos. La ESA también trabaja en estrecha colaboración con organizaciones espaciales no europeas. La coordinación de los recursos económicos e intelectuales de sus miembros permite desarrollar programas y actividades de mayor alcance que los que podría realizar cualquier país europeo individualmente.

En la actualidad la agencia espacial europea (ESA por sus siglas en inglés: **European Space Agency**) está compuesta por veintidós estados miembros, aunque es muy probable que este número se incremente pronto: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza. Canadá participa en algunos proyectos conforme a un acuerdo de cooperación. Bulgaria, Eslovaquia, Eslovenia, Letonia y Lituania son estados europeos colaboradores. También otros países y entidades (como la Unión Europea) han firmado acuerdos de colaboración con la ESA para proyectos específicos.

No todos los países de la ESA son miembros de la Unión Europea, ni viceversa. España participa en la ESA desde su fundación en 1975 y lo hace a través del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), que es una entidad pública empresarial dependiente del Gobierno central.

## agujero negro

Región del espacio de cuyo interior no puede escapar ninguna señal, ni luminosa ni material, a causa de la intensísima atracción gravitatoria ejercida por la materia allí contenida. Según la teoría de la relatividad general, cualquier cuerpo cuya masa quede comprimida hasta adoptar un radio suficientemente pequeño (véase **radio de Schwarzschild**) se convierte en un agujero negro cuyo límite exterior u *horizonte de sucesos* viene definido por dicho radio.

Algunos agujeros negros son el resultado del final catastrófico de una estrella muy masiva y poseen masas comparables a las de las estrellas: son los agujeros de masa estelar. Otros agujeros negros se forman mediante procesos diferentes en contextos extragalácticos, como los que ocupan los centros de la mayoría de galaxias: se trata de los agujeros negros supermasivos.

La coalescencia de agujeros negros constituye una de las primeras fuentes de ondas gravitatorias detectadas de manera directa.

## altas energías

En el ámbito de la observación astronómica se suele llamar *altas energías* a la región del espectro electromagnético correspondiente a la radiación de rayos X o de rayos gamma, es decir, el extremo más energético del espectro electromagnético. Las unidades de energía usadas en estos casos son múltiplos del electrón-voltio (eV, energía adquirida por un electrón cuando es acelerado mediante una diferencia de potencial de un voltio), que se corresponde aproximadamente con la energía de los fotones de la luz visible. Los rayos X tienen una energía mil veces superior (kilo-electrón-voltio o keV) a la de la luz visible, y los rayos gamma, más de un millón de veces superior: mega (MeV), giga (GeV) o tera-electronvoltios (TeV) se corresponden, respectivamente, con un millón, mil millones o un billón de veces la energía de un fotón visible.

## año sidéreo

Intervalo de tiempo empleado por la Tierra en pasar dos veces consecutivas por el mismo punto geométrico de su órbita alrededor del Sol. Básicamente es el periodo orbital que interviene en las ecuaciones dinámicas del movimiento de la Tierra, recogidas en las leyes de Kepler. Según la tercera ley de Kepler, el cuadrado del periodo es directamente proporcional al cubo del semieje mayor de la órbita. El año sidéreo tiene una duración aproximada de 365.2563 días solares medios. Es más largo que el **año trópico** y la diferencia se debe a que el sidéreo no está afectado por la **precesión**.

## año solar (o año trópico)

Intervalo de tiempo empleado por el Sol en completar su órbita aparente en torno a La Tierra. Se mide como el intervalo de tiempo entre dos pasos consecutivos del Sol por el punto Aries o **equinoccio** de primavera. Es una unidad fundamental para la cronología y para establecer el calendario que permite regular nuestras actividades religiosas, sociales y económicas. Es un concepto introducido desde la antigüedad; hace ya 5000 años los babilonios constataron que, visto desde la Tierra, el Sol se va proyectando sobre diferentes constelaciones y que este recorrido se repite cada 365 días aproximadamente. No tiene un número entero de días, y esto ha propiciado las diferentes reformas del calendario llevadas a cabo para ajustarse a lo observado. El año civil actual utilizado en occidente y de manera casi universal tiene una duración media de 365.2425 días si computamos el número total de días en 400 años. En astronomía el año solar se denomina año trópico y se acepta una duración de 365.2422 días pero, debido a los detalles del fenómeno de la **precesión** y a perturbaciones en el movimiento orbital de la Tierra, no puede considerarse constante.

## año-luz

Unidad de distancia que se utiliza en astronomía. Equivale a la distancia que recorre la luz en un año (propagándose por el vacío). Su valor se puede hallar multiplicando la velocidad de la luz en el vacío ( $c = 299\,792.458$  km/s) por 365.25 días (duración de un año) y por 86 400 (segundos que tiene un día). Si se utiliza esa definición de año el resultado es 9 460 730 472 581 kilómetros (es decir, casi 9 billones y medio de kilómetros). La distancia del Sol a la Tierra es de 149 597 871 km, que equivale a 8.3 minutos-luz, es decir, la luz que recibimos del Sol en este instante salió de él hace algo más de ocho minutos. La estrella más cercana a la Tierra (dejando aparte el Sol) es Próxima Centauri, que se encuentra a 4.2 años-luz. Una nave espacial, viajando a la velocidad típica de un avión comercial, unos 900 km/h, tardaría más de cinco millones de años en llegar a esa estrella.

## antimateria

En física de partículas, la antimateria consiste en la aplicación del concepto de antipartícula a la materia (donde la antimateria se compone de antipartículas tal y como la materia «normal» se compone de partículas).

Cada partícula subatómica cuenta con su correspondiente antipartícula, con la misma masa pero con algunas propiedades cuánticas clave invertidas, la más evidente de las cuales (aunque no la única) es **la carga eléctrica**.

Por ejemplo, un antielectrón (un electrón con carga positiva, también llamado *positrón*) y un antiprotón (un protón con carga negativa) podrían formar un átomo de antihidrógeno (tal y como un electrón y un protón forman un átomo de hidrógeno). La mezcla de materia y antimateria conduce a la aniquilación de ambas, tal y como ocurre con la mezcla de otras antipartículas y partículas, con la consiguiente liberación de fotones de alta energía u otros pares partícula-antipartícula.

## arqueología astronómica

Nuestro conocimiento actual de la astronomía permite y hace más fácil descubrir qué sabían el cielo los pueblos de la antigüedad. La disciplina que estudia este campo y se ocupa de la astronomía antigua, incluso de la que nunca fue escrita, se denomina arqueoastronomía. Es una rama compleja, ya que los registros de los que se dispone son escasos y en muchas ocasiones de difícil interpretación. Los estudios y trabajos de campo han de hacerse de forma rigurosa y huyendo de especulaciones que puedan llevar a resultados quizá llamativos, pero totalmente falsos. La arqueoastronomía hace uso de hallazgos arqueológicos, mediciones *in situ* y registros antropológicos para estudiar la astronomía de los pueblos primitivos en su contexto social, cultural y religioso, por eso a veces se la denomina también «etnoastronomía».

## asteroide

Los asteroides son cuerpos menores del Sistema Solar, mayoritariamente compuestos de silicatos y metales. La mayoría de ellos son pequeños, de algunos metros hasta las decenas de kilómetros, y de formas muy irregulares. Unos pocos alcanzan a varios cientos o hasta mil kilómetros de diámetro. Ese es el caso de Ceres, el primer asteroide descubierto en 1801 por Giuseppe Piazzi y hoy día clasificado como **planeta enano**. Casi todos los asteroides se encuentran en la región entre Marte y Júpiter, conocida como cinturón principal. Este ha sido el primer anillo de cuerpos menores conocido (el segundo fue el transneptuniano). En las primeras etapas de la evolución del Sistema Solar se formaron millones de cuerpos de hasta algunas centenas de km de diámetro, a partir de la agregación de los silicatos y metales que abundaban en la región de los planetas terrestres. Mientras que los que se formaron en la región interior a Marte se agregaron dando lugar a los planetas terrestres, aquellos que se formaron un poco más allá de Marte no pudieron agregarse para formar otro planeta. La cercanía de Júpiter modificó sus órbitas de tal modo que al chocar entre sí lo hicieron a velocidades tan altas que, en lugar de agregarse para formar un objeto mayor (como le sucedió a los objetos más interiores), los objetos se fueron rompiendo en trozos más pequeños. No todos los asteroides están en el cinturón principal, algunos han sido eyectados de este debido

a perturbaciones gravitatorias y colisiones mutuas. Las órbitas de algunos de estos asteroides eyectados se acercan a la Tierra y todos aquellos cuya distancia mínima al Sol es menor que 1.3 veces la distancia de la Tierra son considerados como **Asteroides Cercanos (o NEA, del inglés Near Earth Asteroids)**. Algunos NEA son potencialmente peligrosos, dado que su probabilidad de impactar contra la Tierra no es estrictamente nula.

### **astrobiología**

En su concepto más general, la astrobiología es una rama interdisciplinar de la ciencia cuyo objetivo es el estudio del origen, la evolución y la distribución de la vida en el universo. A pesar de que la Tierra sea (de momento) el único objeto del cosmos donde sepamos que la vida existe, el propósito tan ambicioso que esta disciplina científica persigue hace necesaria la colaboración de distintas ramas de la ciencia: física, química, biología, paleontología, geología, física atmosférica, física planetaria, astroquímica, astrofísica, astronáutica, etc. Los nuevos descubrimientos astronómicos, como la existencia de **exoplanetas** (planetas que giran alrededor de otras estrellas) de tipo terrestre, y la exploración de objetos astrobiológicamente interesantes en nuestro Sistema Solar (Marte, Europa, Titán...), han hecho que la opinión pública se plantee la eterna pregunta a la que la astrobiología pretende, en última instancia, contestar: ¿estamos solos en el universo?

### **astrofísica**

La rama de la astronomía de mayor amplitud y desarrollo. Abarca todos los campos de investigación astronómica que no quedan incluidos dentro de la astronomía clásica, o sea, todo aquello que no pueda clasificarse ni como mecánica celeste ni como astronomía de posición. Por lo tanto, casi toda la investigación astronómica moderna queda incluida dentro de esta rama y por este motivo en la actualidad los términos *astronomía* y *astrofísica* funcionan en la práctica como sinónimos.

### **astrología**

Pseudociencia que propone la existencia de una relación entre los intereses cotidianos de los seres humanos y el aspecto que muestra el universo visto desde la Tierra.

Etimológicamente, *astrología* significa «estudio o tratado de los astros». En su origen, astrología y astronomía fueron indistinguibles, pero sus contenidos y procedimientos se han separado con el tiempo. Desde la Revolución Científica, la astrología ha quedado como un conjunto de creencias sin fundamento que no siguen el método científico: una pseudociencia que no ha hecho avanzar nuestro conocimiento del universo. Las diferentes astrologías (existen diversas tradiciones o sistemas, a menudo incompatibles entre sí) se basan en estudiar las posiciones relativas y movimientos de varios cuerpos celestes reales (Sol, Luna, planetas) o «construidos» (ejes del ascendente y del medio-cielo, casas...) tal como se ven a la hora y desde el lugar de nacimiento de una persona, o de otro suceso. Parten de la hipótesis no demostrada de que algunos astros (desde un obsoleto punto de vista geocéntrico) influyen sobre la Tierra y sus habitantes mediante fuerzas desconocidas (independientes de la distancia y propiedades físicas), condicionando u orientando sus inclinaciones, personalidad, futuro... La astrología ha fracasado como práctica predictiva y su relativo éxito solo se justifica porque sus descripciones son tan generales y ambiguas que resultan aplicables casi a cualquier persona.

### **astronauta (o cosmonauta)**

Se llaman *astronautas* o *cosmonautas* las personas que viajan por el espacio exterior, más allá de la atmósfera de la Tierra. Cuesta definir dónde empieza realmente el espacio exterior, pero se suele admitir que llegar por encima de los 100 km de altitud se asemeja más a un viaje espacial que a un vuelo de aeroplano. Cabría calificar de astronauta, por tanto, a cualquier persona que se haya aventurado a más de 100 km de distancia de la superficie terrestre, aunque una definición algo más rigurosa requeriría además que el viaje se efectúe en un vehículo capacitado para maniobrar en órbita alrededor de la Tierra. En los medios de comunicación se suele

aplicar la palabra *cosmonauta* a los astronautas que viajan en vehículos espaciales de tecnología soviética o rusa. Esta distinción carece de sentido y en realidad las palabras *astronauta* y *cosmonauta* tendrían que usarse como lo que son: sinónimos estrictos. El primer astronauta de la historia fue Yuri Alekséievich Gagarin (Vostok 1, 1961) y la primera astronauta Valentina Vladímírovna Tereshkova (Vostok 6, 1963). El primer astronauta de habla hispana fue el cubano Arnaldo Tamayo Méndez (Soyuz 38, 1980). El título de primer astronauta de nacionalidad española le corresponde a Pedro Duque Duque (Discovery STS-95, 1998 y Soyuz TMA-3, 2003).

## **astronomía**

La ciencia natural del universo, en su concepto más general. La astronomía se dedica a estudiar las posiciones, movimientos, estructura y evolución de los astros y para ello se basa casi exclusivamente en la información contenida en la **radiación electromagnética** o **de partículas** que alcanza al observador, aunque empiezan a utilizarse también las **ondas gravitatorias**. La astronomía abarca dos ramas principales: la astronomía clásica (que comprende la mecánica celeste y la astronomía de posición) y la **astrofísica** (que comprende todo lo demás).

## **astronomía como afición (o astronomía no profesional)**

Se trata de la astronomía considerada como una ocupación que no constituye el trabajo principal de una persona. Para practicar la astronomía como afición no hay que tener necesariamente formación académica ni reglada. Los colectivos de astrónomos no profesionales contribuyen notablemente a la difusión de la astronomía y con frecuencia proporcionan datos a la astronomía profesional. Algunas personas han accedido a la astronomía profesional tras haberse iniciado en esta ciencia como afición y estudiar luego una carrera científica. Algunos de los astrónomos más famosos de la historia no tenían formación académica en astronomía, como Friedrich Wilhelm Herschel.

## **astronomía de posición (o astrometría)**

Parte de la astronomía que trata de la posición y movimiento de los objetos celestes. Se ocupa no solo de establecer las posiciones por medio de las coordenadas celestes, sino también de analizar su variación con el tiempo. En la actualidad se suele denominar *astrometría* e incluye las distintas técnicas de medida y reducción de posiciones.

## **astronomía extra galáctica**

Disciplina astronómica dedicada al estudio de los objetos (estrellas, galaxias, cuásares...) que están fuera de nuestra propia Galaxia. En particular abarca el análisis de los movimientos de las galaxias y sus agrupaciones, las interacciones entre galaxias, el medio intergaláctico, la evolución de las galaxias y la estructura del universo a gran escala. Debe distinguirse de la **astronomía galáctica** (centrada en el estudio de nuestra propia Galaxia y sus componentes) y de la astronomía estelar (dedicada al análisis de las estrellas como entes aislados).

## **astronomía galáctica**

Disciplina astronómica dedicada al estudio de nuestra Galaxia, su estructura y evolución. En particular abarca el análisis de los movimientos de la Galaxia y de los astros que la componen, así como el estudio del medio interestelar y de las agrupaciones estelares (cúmulos estelares y asociaciones estelares). Debe distinguirse de la **astronomía extragaláctica** (centrada en el estudio de galaxias externas a la nuestra) y de la astronomía estelar (dedicada al análisis de las estrellas como entes aislados).

## **astronomía profesional (y dónde estudiarla)**

Se trata de la astronomía considerada como el trabajo u ocupación principal de una persona. Comprende el conjunto de conocimientos y técnicas propios de las personas con formación académica especializada en el área de la astronomía. Quienes se dedican profesionalmente a la astronomía suelen trabajar en la investigación científica o bien en el desarrollo y mantenimiento de instrumentación astronómica. Se requiere para ello formación superior: grado universitario, máster o doctorado, en alguna carrera científica. En la mayoría de los casos se accede a la astronomía profesional tras estudiar en la universidad física o matemáticas, aunque en la actualidad hay también estudiantes de ingenierías (telecomunicaciones, por ejemplo), geología y química que realizan investigaciones astronómicas. Una vez obtenido el grado en estas materias se puede trabajar en una empresa de la industria aeroespacial o continuar los estudios con un máster específico. Una vez finalizados los estudios de máster, se realiza una investigación dirigida desde un centro de investigación para obtener el doctorado y así poder optar a un puesto de investigación o docencia en un centro de investigación o en una universidad.

## **astro partículas**

La física de astropartículas es un nuevo campo emergente de investigación multidisciplinar, intersección de la astrofísica, astronomía, cosmología y de la física de partículas, que estudia las partículas procedentes del universo. El campo de investigación de la física de astropartículas cubre el estudio de los rayos cósmicos, rayos gamma, neutrinos, materia oscura, energía oscura y ondas gravitatorias. A medida que la física de astropartículas se ha ido desarrollando, se han ido abriendo nuevas ventanas del universo, donde la luz o en general las ondas electromagnéticas ya no son los únicos mensajeros. La materia tal como nosotros la conocemos, es decir, lo que llamamos *materia bariónica*, es solo la punta del iceberg, ya que representa solamente una fracción no mayoritaria de toda la materia del universo. La física de astropartículas tiene como uno de sus objetivos comprender la naturaleza del resto de la materia desconocida, constituida por **materia oscura**, así como de la **energía oscura**.

## **astro sismología**

Técnica astronómica que estudia las oscilaciones periódicas de las superficies de las estrellas. Las estrellas son objetos fluidos de estructura compleja que vibran con ciertos periodos naturales. Las campanas o los diapasones vibran con unas frecuencias (tonos de sonido) determinadas al golpearlas, que dependen de las propiedades físicas y de la estructura de estos objetos. Del mismo modo, la actividad interna de las estrellas hace que los astros vibren con frecuencias que dependen de su estructura y condiciones. Estas vibraciones se pueden estudiar o bien por medio de la **fotometría** (análisis de cambios minúsculos de brillo) o mediante **espectroscopia**. En cualquier caso, el estudio de las vibraciones estelares recibe el nombre de *astrosismología* y presenta muchos paralelismos con los estudios que se efectúan en la Tierra y en la Luna sobre propagación de ondas sísmicas, y que conducen a elucidar la estructura interna de estos astros rocosos. La astrosismología aplicada al Sol recibe el nombre de *heliosismología*.

## **atmósfera**

Capas gaseosas exteriores de un cuerpo celeste, se trate de un planeta, un satélite o una estrella. La atmósfera permanece vinculada a su cuerpo celeste por confinamiento gravitatorio: la tendencia natural de las moléculas gaseosas a difundirse por el espacio queda contrarrestada por la atracción gravitatoria del cuerpo celeste. De ese modo se alcanza un estado de equilibrio en el que la atmósfera se vuelve más densa a medida que se profundiza en ella en dirección al astro. También, de manera general, se aprecia una tendencia al aumento de temperatura al incrementarse la profundidad. Las atmósferas inducen marcas características en los espectros de la luz reflejada o emitida por los cuerpos celestes. Esto permite analizar su composición a partir del estudio de la luz. En el caso de los planetas gaseosos o de las estrellas, cuerpos compuestos de gas, se establece una frontera arbitraria para definir qué capas externas constituyen la atmósfera. Este límite se suele colocar en la profundidad a la que el gas se vuelve esencialmente opaco a la luz visible.

## aurora polar

Fenómeno luminoso que se produce en la atmósfera terrestre cuando impactan contra sus capas más elevadas partículas atómicas y subatómicas procedentes del Sol. La energía depositada por los impactos excita las moléculas de aire y las hace brillar con colores llamativos muy característicos. Dado que las partículas impactantes están cargadas, el campo magnético de la Tierra las desvía y las encauza hacia las regiones de la atmósfera cercanas a los polos magnéticos, de ahí que estos fenómenos se produzcan casi solo en las regiones polares del planeta y que reciban, por tanto, el nombre de *auroras polares* (*auroras boreales* y *auroras australes*). Se han detectado auroras polares en otros planetas dotados, como la Tierra, de un campo magnético considerable.

# B

## Big Bang

Los modelos cosmológicos actuales coinciden en que el universo está en expansión, y en que al seguir la historia del cosmos hacia el pasado toda la materia y la energía que contiene se va concentrando más y más. Se deduce que el universo primitivo se hallaba en un estado de densidades y temperaturas enormes. Si se retrocede hasta la época más temprana que la ciencia actual es capaz de estudiar, entonces nos encontramos con el cosmos en el estado primigenio que corresponde a la Gran Explosión o Big Bang. Vemos por tanto que sería más adecuado entender la Gran Explosión como una etapa primitiva o una época de la evolución del cosmos, y no tanto como un suceso puntual concreto localizado en el espacio y en el tiempo.

# C

## calendario

Sistema convencional de planificación y registro del tiempo adaptado a la duración de los periodos temporales relevantes para las actividades humanas y de duración superior a un día. Un calendario combina unidades de tiempo como los días, semanas, meses, años y, en ocasiones, múltiplos de años. Estos periodos están basados en última instancia en fenómenos astronómicos (rotación terrestre, fases lunares, traslación terrestre). Un calendario práctico debe combinar estos periodos por unidades enteras pero, dado que estos lapsos temporales no son múltiplos unos de otros, es necesario aplicar algunas reglas convencionales que permitan efectuar esas combinaciones de manera aproximada. Cada calendario se diferencia de los demás por esas reglas de combinación. Así, los calendarios tradicionales chino y musulmán realizan esfuerzos aritméticos considerables con la intención de conservar el inicio y fin de los meses acompañados con las fases de la Luna, aunque esto implique desajustes severos con las estaciones del año: se trata de calendarios de carácter lunar. Los calendarios occidentales, en cambio, aspiran a mantener las estaciones del año en fechas fijas, e ignoran las fases lunares: son calendarios solares. Otros calendarios, más complejos, combinan ciclos tanto lunares como solares y, quizá, el mejor ejemplo lo ofrezca el calendario tradicional hebreo. El calendario occidental actual recibe el nombre de *calendario gregoriano*, está en vigor en los países católicos desde 1582 y centra sus mecanismos de ajuste en mantener la duración del año civil lo más ajustada posible a la duración del ciclo de las estaciones, el llamado año solar o trópico.

## calidad de imagen (borrosidad o seeing)

La atmósfera de la Tierra perturba los rayos de luz que la atraviesan y esto afecta a la nitidez de las imágenes de los cuerpos celestes que se obtienen desde la superficie terrestre. Las estrellas, que desde el espacio exterior aparecen como objetos perfectamente puntuales, vistas desde el suelo se convierten en pequeños borrones luminosos. El tamaño aparente de las imágenes estelares proporciona una buena medida de la cantidad de turbulencia que impera en la atmósfera. El parámetro que mide la borrosidad o la calidad de imagen, más conocido por su nombre en inglés, *seeing*, corresponde justamente a este concepto: el tamaño aparente de las

imágenes estelares, que suele medirse en segundos de arco. La calidad de imagen mejora, es decir, la borrosidad o el *seeing* se reduce (las estrellas aparecen más «pequeñas») cuanto más estable sea la atmósfera. Por eso los grandes observatorios astronómicos se sitúan en emplazamientos muy elevados sobre el nivel del mar y con cielos lo más calmos posible.

Persiste un debate considerable acerca de la forma más adecuada para referirse a este concepto en lengua castellana. Junto al uso del término inglés tal cual, *seeing*, se detectan las formas citadas más arriba: *borrosidad* y *calidad de imagen*.

### **canibalismo entre galaxias (o canibalismo galáctico)**

Proceso por el cual una galaxia se «come» a otra u otras galaxias menos masivas que no pueden escapar de la atracción gravitatoria ejercida por la primera. Este efecto hace que aumente la masa y se modifiquen las propiedades físicas de la galaxia «caníbal», la cual en ocasiones llega a transformarse en una galaxia activa debido a esta perturbación. Así, por ejemplo, parte de las estrellas y el gas que constituyen nuestra Galaxia provienen de encuentros con otras galaxias menores como la galaxia enana de Sagitario.

### **catálogo**

En astronomía se denomina *catálogo* a una recopilación de datos sobre objetos astronómicos (o datos de otro tipo) que están relacionados entre sí. Existen numerosos tipos de catálogos. Los más comunes son los catálogos que conciernen un tipo concreto de objeto celeste, como pueden ser los catálogos de galaxias, estrellas cercanas o exoplanetas (planetas fuera de nuestro Sistema Solar). Sin embargo, también existen numerosos catálogos de objetos astronómicos recopilados a partir de exploraciones del cielo en diferentes rangos de longitud de onda, o frecuencia. Así, se pueden encontrar catálogos de fuentes de rayos X, de radio o infrarrojas, que no distinguen entre el tipo de objeto celeste. Finalmente, existen catálogos de datos astronómicos particulares como, por ejemplo, magnitudes (brillos) y colores de estrellas. Actualmente, los catálogos han pasado a formar parte de las bases de datos astronómicas, no haciéndose distinción, en muchos casos, entre los unos y las otras.

### **CCD (dispositivo de carga acoplada)**

Siglas de la expresión inglesa «charge-coupled device», que se suele traducir como *dispositivo de carga acoplada*. Se trata de un dispositivo detector de luz basado en materiales semiconductores como el silicio. Los fotones de la luz incidente arrancan electrones de la red cristalina del silicio. Una red de electrodos estampada sobre la masa de silicio captura esos electrones y permite su lectura de manera ordenada mediante su traslado a lo largo del detector de columna a columna. Este traslado progresivo de la carga hasta el canal de lectura constituye el rasgo característico de los CCD y que los diferencia de otros detectores de estado sólido en los que no se recurre a tal desplazamiento, como los sensores CMOS o los detectores de radiación infrarroja. Tras el traslado y lectura de la carga acumulada puede reconstruirse la distribución espacial de la luz que incidió sobre el dispositivo. Los CCD son muy sensibles y permiten detectar luz visible, así como también en el infrarrojo y el ultravioleta cercanos. Se trata del tipo de detector más utilizado en la astronomía observacional moderna.

### **cefeida**

Estrella variable intrínseca que pulsa (cambia ligeramente de tamaño), lo que induce unas alteraciones de brillo que presentan una correlación muy estrecha entre el periodo de cambio y la luminosidad. Dicho de otro modo, cuanto más brillante es una cefeida, más lentas son sus pulsaciones. Por lo tanto, al medir el periodo de pulsación de una cefeida se puede deducir cuál es su luminosidad y, de ahí, se puede colegir la distancia. El nombre de esta clase de estrellas variables procede de la constelación de Cefeo, porque en esa zona celeste se encuentra la estrella que sirve de prototipo para esta categoría: delta Cephei.

Hay que insistir en que la categoría de las estrellas pulsantes es muy amplia e incluye muchos tipos diferentes, solo uno de los cuales corresponde al grupo de las cefeidas.

### **cenit (o cénit)**

Punto que ese encuentra justo por encima de nuestras cabezas. Para un observador es el punto más alto de la esfera celeste, con una altura de 90°. Astronómicamente viene definido por la intersección de la vertical astronómica (que es una línea paralela a la gravedad efectiva, lo que equivale a la denominada dirección de la plomada) con la semiesfera superior del observador. El punto diametralmente opuesto es el *nadir*, que se encuentra a 180° del cenit. Los objetos que pasan por el cenit son aquellos que tienen una declinación igual a la latitud del lugar.

En ocasiones se duda sobre la manera más correcta de escribir este término. Aunque hay varias ortografías consideradas correctas (cenit, cénit, zenit, zénit), la forma más sencilla y generalizada es *cenit* (palabra aguda y escrita con c).

### **ciclo solar**

El Sol es una estrella activa (magnética) y ligerísimamente variable. Desde 1849 se contabiliza a diario el número de manchas solares y los registros se han ampliado hasta 1610, cuando Galileo las observó por primera vez con telescopio. Así se ha comprobado que el número de manchas observadas aumenta desde prácticamente ninguna hasta más de cien, decrece de nuevo, y así sucesivamente, con un periodo de unos once años: el ciclo de actividad solar. Durante cada ciclo, los grupos bipolares del hemisferio norte solar muestran una orientación magnética opuesta a la de los grupos del hemisferio sur, y esta se invierte en el siguiente periodo undecenal, por lo que puede decirse que el auténtico ciclo magnético solar es de veintidós años. Al comienzo de un ciclo las manchas aparecen entre unos 30 y 40° de latitud y, según este avanza, van surgiendo más cerca del ecuador. También la ubicación, frecuencia e intensidad de otros fenómenos magnéticos varían a lo largo del ciclo solar. Aunque se conocen muchos detalles sobre el ciclo de actividad, su naturaleza y causas son todavía una de las grandes cuestiones abiertas de la física solar, y no disponemos de un modelo que permita predecir con fiabilidad el número de manchas en el futuro.

### **cinturón transneptuniano (o de Kuiper)**

Denominación colectiva para el conjunto de cuerpos (objetos transneptunianos, TNO) que se encuentran en una región en forma de anillo que se extiende desde la órbita de Neptuno hasta unas 47 unidades astronómicas más allá, y que está en el plano de la eclíptica. Existen al menos 3 tipos de TNO en esa región: los «clásicos», cuyas órbitas son bastante circulares y poco inclinadas; los «resonantes», objetos cuyas órbitas están en resonancia con el movimiento de Neptuno (es decir, tienen periodos del tipo 2:1 o 3:2, es decir, dan una vuelta alrededor del Sol en el mismo tiempo que Neptuno da 2, etc.); y los «dispersos», TNO con órbitas muy alargadas y que pueden estar más inclinadas respecto de la eclíptica, como por ejemplo uno de los mayores TNO conocidos, Éride (o Eris). La existencia del cinturón fue postulada en 1980 por Julio Fernández, quien demostró que los cometas de corto periodo son objetos provenientes de esta región del espacio. El primero de estos objetos, 1992 QB1, fue observado por Jean Luu y David Jewitt en 1992.

### **clase de luminosidad**

La clase de luminosidad indica el tamaño de la estrella en comparación con estrellas de su mismo tipo espectral. Las clases de luminosidad se designan mediante números romanos: I, II, III, IV, V... A menor número romano, mayor tamaño de la estrella. Las clases I y II designan supergigantes, la clase III gigantes, la clase IV subgigantes y la clase V, las enanas de la secuencia principal. Menos utilizadas son las clases VI y VII para designar las subenanas y las enanas blancas. Así, el Sol es una G2V, es decir, una estrella de tipo espectral G2 y clase de luminosidad V. Eso nos indica que es una estrella de unos 5800 K, de tamaño normal para su tipo, en la fase

principal de su evolución. Igualmente, saber que una estrella es de los tipos A3I o M5III nos permite deducir inmediatamente algunas de sus características más importantes.

### **clasificación espectral**

La forma más sencilla de comenzar a estudiar un conjunto de objetos o seres es clasificarlos en función de características comunes, es decir, elaborar su taxonomía. La forma de clasificar a las estrellas se basa en las características de sus espectros, por lo que la llamamos clasificación espectral. La clasificación espectral divide las estrellas en tipos espectrales y, con un refinamiento posterior, en clases de luminosidad. No obstante, en muchas ocasiones hablamos de tipo espectral para referirnos a la combinación de ambos, el tipo espectral y la **clase de luminosidad**.

### **color**

En astronomía se hace un uso bastante peculiar de la palabra *color*. Por supuesto, sigue haciendo referencia a la tonalidad de la luz que emiten los cuerpos celestes, sobre todo las estrellas, pero se cuantifica en términos numéricos precisos y puede someterse a medidas objetivas por medio de telescopios e instrumentos. Para valorar el color de un astro se mide la intensidad de la luz que recibimos de él en dos intervalos diferentes del espectro electromagnético. Imaginemos una estrella *y*, para fijar ideas, consideremos que medimos su brillo en la zona de los tonos verdes del espectro: a esa medida la denominaremos *V*. Midamos luego el brillo en la región azul del espectro y llamemos *B* al resultado. Si tanto *B* como *V* se miden en las unidades habituales en astronomía, magnitudes estelares, la diferencia de ambos números, *B-V*, es el *color* o *índice de color* del objeto. Así, estrellas con colores negativos tienen tonalidades ligeramente azuladas, las que tienen color tienen brillos más equilibrados en *B* y en *V* y por tanto aparecen blancas, mientras que los astros amarillentos y anaranjados tienen índices de color mayores, hasta llegar a valores superiores a 1.5 que corresponden a estrellas rojizas. El Sol tiene un índice de color *B-V* de 0.66. Por supuesto, cabe definir otros índices de color en astronomía empleando otras regiones del espectro en lugar de *B* y *V*, de hecho, se hace con mucha frecuencia.

### **cometa**

Los cometas (del griego *kometes*, que significa «astro con cabellera») son cuerpos menores, desde unos pocos metros hasta algunos kilómetros de diámetro, compuestos de hielo y silicatos. Se trata básicamente de grandes «bolas de hielo sucio». Sus órbitas, normalmente muy alargadas, los llevan a pasar la mayor parte del tiempo muy alejados del Sol, en regiones frías del Sistema Solar. Pero cuando se acercan al astro rey, se calientan y el hielo (principalmente de agua) se sublima, es decir, pasa de estado sólido a gaseoso. Este gas, que escapa del núcleo sólido del cometa, arrastra consigo partículas de polvo y forma unas extensas nubes alrededor del cometa llamadas *cabellera* (o *coma*). Los materiales que forman la cabellera son arrastrados en sentido opuesto al Sol por el viento Solar y dan lugar a las *colas* cometarias. Existen al menos 3 tipos de cometas: los de *corto periodo* o de la *familia de Júpiter*, objetos con un periodo orbital menor de 20 años y órbitas apenas inclinadas respecto de la eclíptica; los de *tipo Halley*, con órbitas más alargadas, periodos de decenas de años e inclinaciones que pueden ser muy grandes; y los de *largo periodo*, con órbitas alargadísimas y periodos que van desde miles de años hasta objetos que han pasado por la cercanía del Sol una única vez desde los orígenes del Sistema Solar.

### **conexión Sol-Tierra**

El Sol influye en nuestro planeta a través de su radiación visible (es el 99 % de la energía emitida y varía solo un 0.2–0.3 % con el **ciclo solar**), la radiación ultravioleta y rayos X (muy energéticos y con cambios superiores al 50 %) y el flujo de partículas cargadas (**viento solar**). La correlación observada entre mayor actividad solar y mayor temperatura en la Tierra sugiere que el Sol debe ser parcialmente responsable de la variabilidad de nuestro clima. Pero los informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) indican que los factores de origen humano (que podemos modificar) son abrumadoramente más

importantes que los solares (siempre presentes e incontrolables). La cambiante meteorología espacial viene determinada por las emisiones de partículas cargadas desde el Sol y, a pesar de la protección de la magnetosfera terrestre, influye notablemente sobre nuestro entorno: es responsable de las espectaculares **auroras polares** (boreales y australes), así como de las tormentas magnéticas que afectan a satélites artificiales y naves espaciales, sus instrumentos y tripulantes, y que perturban las comunicaciones por radio y satélite, y causan problemas en aparatos magnéticos y redes de tuberías y fluido eléctrico. El estudio y predicción de la meteorología espacial supone un desafío que nuestro mundo, tan dependiente del espacio, debe abordar.

### **constante cosmológica**

Cuando Einstein elaboró su modelo de universo, en 1915, Edwin Hubble aún no había realizado las observaciones que demostraban que el cosmos estaba en expansión. Einstein creía que el universo era estático, de modo que introdujo en sus ecuaciones de la relatividad general un término de expansión, llamado constante cosmológica, cuyo efecto era compensar la acción de la gravitación debida a toda la masa del universo. Cuando Hubble probó que el universo estaba expandiéndose, Einstein consideró la constante cosmológica como una de sus mayores equivocaciones. En 1998, los cosmólogos, utilizando el brillo de supernovas que explotaron hace cientos de millones de años en galaxias muy distantes, pudieron demostrar que la expansión del universo se está acelerando: el cosmos parece estar dominado por un agente de carácter desconocido cuyo efecto es equivalente al de una anti-gravedad y que existe a las mayores escalas. Este agente podría explicarse en términos de la constante cosmológica introducida por Einstein, aunque también podría admitir descripciones físicas de otro tipo (como energía oscura, quintaesencia, u otras).

### **constante de Hubble**

El universo se encuentra en expansión. Esta expansión se produce actualmente a un ritmo determinado, el cual se mide por medio de la constante de Hubble, cuyo símbolo es  $H_0$ . Su valor se estima en unos 70 kilómetros por segundo y por megaparsec. Esto quiere decir que la **expansión del universo** hace que la distancia entre los cúmulos de galaxias crezca sin parar, y lo hacen a un ritmo tal que por cada megaparsec de distancia actual (o sea, cada 3.26 millones de años-luz) el ritmo de crecimiento del espacio se incrementa en 70 kilómetros por segundo. La expansión del universo se ha producido a ritmos diferentes en otros momentos de la historia del cosmos y para medirla se recurre al parámetro de Hubble,  $H$ , que representa el mismo concepto que la constante de Hubble pero aplicado no al cosmos actual, sino al del pasado o el futuro.

### **constelación**

Cada una de las 88 regiones arbitrarias en las que se divide el firmamento con el fin de clasificar y designar los cuerpos celestes. En tiempos antiguos se entendía por constelación más bien una alineación o figura de estrellas, pero el concepto actual corresponde a parcelas completas de la bóveda celeste con todo su contenido. Las fronteras entre constelaciones son totalmente arbitrarias, carecen de relación alguna con la realidad física y fueron fijadas en la década de 1930 por la Unión Astronómica Internacional. Dentro de una misma constelación se encuentran estrellas y otros objetos astronómicos de muchos tipos que normalmente carecen de relación entre ellos.

### **contaminación lumínica**

Una de las definiciones más aceptadas de *contaminación lumínica* la describe como «la emisión de flujo luminoso procedente de fuentes artificiales nocturnas con intensidades, direcciones o rangos espectrales (colores) innecesarios para las actividades que se planea desarrollar en la zona iluminada». Según esta caracterización, para que una instalación de alumbrado no se considere contaminante debería emitir un flujo luminoso adecuado (no excesivamente intenso), no debe invadir fincas colindantes (lo que supondría intrusión lumínica y por tanto molestias para los vecinos) y no debe emitir luz de colores inadecuados. Una definición más genérica identifica la contaminación lumínica con «cualquier perturbación artificial de las condiciones naturales de oscuridad de la noche». Desde este punto

de vista todo alumbrado nocturno es contaminante y solo cabe tratar de diseñarlo de manera que la perturbación sea la mínima. La contaminación lumínica, en forma de luz emitida hacia el cielo de manera directa o tras reflejarse en fachadas y pavimentos, supone una amenaza muy seria para la astronomía tanto profesional como no profesional, e implica para la población general la pérdida del cielo nocturno como parte del paisaje natural y como patrimonio cultural. La alteración de la oscuridad natural de la noche tiene, además, implicaciones para los ecosistemas e, incluso, para la salud humana.

A pesar de los esfuerzos en curso por combatir la contaminación lumínica, la tendencia en los países occidentales y en especial en España es a empeorar a pasos acelerados, lo que presagia un futuro poco esperanzador para la contemplación del cielo nocturno y para su estudio científico, incluso desde los observatorios más avanzados situados en nuestro territorio.

### **coordenadas celestes**

Parámetros angulares que permiten establecer la posición de los astros. En general, la posición de los objetos en el espacio se define por medio de tres números (coordenadas) que dan su distancia y dirección en un determinado sistema de referencia. Ahora bien, para dar la posición de los objetos celestes y construir catálogos, basta con utilizar dos ángulos, que proporcionan la dirección en que se encuentran, sin incluir la distancia. Dependiendo de los planos de referencia que se utilicen, para definir dichos ángulos y los criterios o convenios de medida tendremos distintas coordenadas celestes: horizontales (o altacimutales), ecuatoriales, eclípticas, galácticas... El sistema más utilizado y fundamental es el denominado sistema ecuatorial, cuyas coordenadas son la declinación, o distancia angular al ecuador, y la ascensión recta, que es ángulo contado desde el punto Aries en el sentido de la rotación terrestre. El punto Aries es el equinoccio de primavera.

### **cosmología**

En los términos más generales posibles se puede definir la cosmología como la rama de la física que estudia el universo como un conjunto. Una definición tan amplia abarca multitud de campos de estudio más o menos alejados, como la cosmología teórica (estudio de modelos físico-matemáticos que describen la estructura y la historia del universo de manera general), el estudio de la formación de estructuras a gran escala en el universo primitivo, las investigaciones acerca de los primeros instantes de existencia del cosmos o el análisis de la radiación de fondo de microondas, por mencionar tan solo algunos de sus contenidos. La cosmología es hoy día una disciplina científica floreciente y sólidamente asentada sobre observaciones y teorías, pero a principios del siglo XX solía considerarse un asunto especulativo y poco adecuado para científicos de carrera.

### **cosmos**

En su acepción más general, un cosmos es un sistema armonioso, ordenado. Proviene del griego *κόσμος* que significa «orden, dispuesto de manera ordenada» y es la noción antagónica del caos. Hoy en día se usa como sinónimo del término **universo**. En el área de la cosmología, el término *cosmos* suele usarse de un modo técnico refiriéndose a un espacio-tiempo continuo en el (postulado) multiverso.

### **cuásar**

Clase de galaxias activas muy lejanas observadas por primera vez a finales de los años 1950 mediante radiotelescopios. La fuente de las ondas de radio coincidía con la de un objeto que en luz visible parecía una estrella; de ahí su nombre, apócope de *quasi-stellar radio source*, «radiofuente casi estelar». Pero el estudio de su espectro desveló que en realidad son objetos extragalácticos a miles de millones de años-luz de distancia, los más lejanos que se conocen. Posteriormente se han observado multitud de estas galaxias y se tiende a reservar el término QSO (*quasi-stellar objects*, objetos cuasiestelares) para aquellas con baja o nula emisión en radiofrecuencias.

## **cuerpos menores**

Son los objetos que orbitan en torno al Sol y no encajan en la definición de planetas ni de planetas enanos. Actualmente se incluyen en esta categoría todos los asteroides del Sistema Solar con la excepción de Ceres (que es un planeta enano), los Centauros, la mayoría de los objetos transneptunianos y los cometas. Algunos de los *cuerpos menores del Sistema Solar* más grandes, como los asteroides Palas, Vesta e Hígiea, o algunos de los transneptunianos de mayor tamaño, podrían reclasificarse en el futuro como **planetas enanos** si se comprueba que son cuerpos esféricos que están en equilibrio hidrostático.

## **cúmulo de galaxias**

Agrupación de galaxias que cuenta con un número de miembros superior a varias decenas, con concentraciones de gas caliente y materia oscura. Estas galaxias se mantienen unidas entre sí gracias a la interacción gravitatoria, y los cúmulos pueden presentar masas cercanas a 10 billones de veces la del Sol. Los cúmulos de galaxias miden normalmente decenas de megapársecs (decenas de millones de años-luz). La formación de estas agrupaciones se suele situar en periodos entre hace diez mil millones de años y la actualidad. Algunos ejemplos de estas aglomeraciones de galaxias son el cúmulo de Virgo, el de Hérculos y el de la Cabellera de Berenice.

## **cúmulo estelar**

Se denomina cúmulo estelar a una agrupación de estrellas cuyos miembros se encuentran ligados gravitatoriamente entre sí. Las estrellas pertenecientes a un cúmulo se mantienen agregadas durante cientos o miles de millones de años, aun cuando los efectos de las fuerzas gravitatorias galácticas tiendan a dispersarlas. Se distinguen dos tipos de cúmulos estelares: los cúmulos globulares, que contienen miles o decenas de miles de estrellas viejas (con edades por encima de mil millones de años), y los cúmulos abiertos (también llamados cúmulos galácticos), mucho menos densos, con solo decenas o centenares de estrellas y con edades inferiores a mil millones de años (y con frecuencia por debajo de doscientos millones de años). La menor densidad de los cúmulos abiertos hace que, con el tiempo, sus miembros se dispersen debido a la acción de la fuerza gravitatoria que ejerce la Galaxia, contrariamente a lo que sucede con los cúmulos globulares, algunos de los cuales tienen una edad comparable a la de nuestra propia Galaxia (alrededor de trece mil millones de años).

## **curva de rotación de las galaxias**

Representación gráfica de la velocidad orbital de las estrellas o el gas de una galaxia en función de la distancia al centro de la misma. Las observaciones muestran que las estrellas giran alrededor del centro de las galaxias con una velocidad constante, independiente de la distancia al centro de las mismas, para un gran rango de distancias. De este modo, giran mucho más rápido de lo que cabría esperar a partir de las predicciones de la dinámica newtoniana bajo la suposición de que toda la masa es «visible». Esta discrepancia sugiere la presencia de **materia oscura** que puebla las galaxias y se extiende hasta los halos de las mismas. Una explicación alternativa consistiría en la modificación de las leyes de la gravitación (MOND, según sus siglas en inglés).

## **curvatura del espacio**

La **relatividad general** describe el universo en un espacio matemático abstracto de cuatro dimensiones, el espacio-tiempo, donde tres dimensiones corresponden a las tres direcciones clásicas del espacio y la cuarta dimensión representa el tiempo. Tal y como predicen las ecuaciones de Einstein, la presencia de cualquier cantidad de materia o energía hace que el espacio-tiempo tetradimensional deje de ser euclídeo («plano»), y siempre esté curvado. Sin embargo, la parte estrictamente espacial del espacio-tiempo (o, en la jerga relativista, las hipersuperficies espaciales del espacio-tiempo) pueden estar curvadas o no curvadas, dependiendo de la distribución de materia y energía. Dicho de otro modo, aunque el espacio-tiempo esté curvado, su «porción» espacial podría no estarlo. Cuando se considera el universo a gran escala se aplica al mismo la teoría de la relatividad general y se deduce que, si el cosmos posee un cierto contenido de materia y energía, entonces su espacio-tiempo tiene que estar curvado. Sin embargo, los modelos cosmológicos de más

éxito son compatibles con curvaturas espaciales de diversos tipos. La parte espacial del cosmos podría ser «plana», es decir, euclídea o, dicho de otro modo, los tres ángulos de un triángulo de dimensiones colosales sumarían siempre 180 grados. Pero también es posible que el espacio (no el espacio-tiempo) presente una geometría no euclídea bien de curvatura negativa (los tres ángulos de un triángulo sumarían menos de 180 grados) o bien de curvatura positiva (los tres ángulos sumarían más de 180 grados). Los estudios recientes indican que el espacio, a las mayores escalas, tiene curvatura nula, es decir, posee una geometría euclídea.

## D

### desplazamiento al rojo

Fenómeno que afecta a las ondas electromagnéticas provenientes de un objeto emisor y que consiste en un enrojecimiento de la luz, o sea, las radiaciones emitidas experimentan un corrimiento hacia la parte menos energética (más roja) del espectro. Este cambio se puede deber a tres procesos físicos diferentes: a que el emisor y el receptor se alejen entre sí (**efecto Doppler**), a que el emisor se encuentre sometido a un campo gravitatorio más intenso que el receptor (desplazamiento al rojo gravitatorio) o a la expansión del universo (desplazamiento al rojo cosmológico). Cuando emisor y receptor se acercan, cuando el receptor experimenta un campo gravitatorio más intenso o cuando el universo se contrae, entonces se produce el efecto contrario, el desplazamiento al azul. El desplazamiento al rojo se representa con la letra  $z$ . La variable  $z$  adopta valores positivos cuando se trata de un desplazamiento al rojo y negativos si se trata de un desplazamiento al azul.

### detectores de rayos cósmicos

Los **rayos cósmicos** que inciden sobre la Tierra no alcanzan el suelo, sino que se desintegran en su interacción con la atmósfera. Para estudiar los rayos cósmicos en su estado original es necesario, por tanto, ascender hasta las capas superiores de la atmósfera o, mejor, salir al espacio exterior. Para detectarlos se induce la interacción de las partículas de los rayos cósmicos con algún material de comportamiento conocido, y luego se estudian los productos resultantes del choque. Un método muy usado en el pasado consistía en registrar el proceso en emulsiones fotográficas. Hoy día se emplean dispositivos más sofisticados que suelen basarse en el destello que se produce cuando un rayo cósmico atraviesa el material que conforma el núcleo del detector. El estudio del destello permite deducir parámetros como la velocidad, energía y dirección del rayo cósmico. Desde el suelo también se pueden detectar los rayos cósmicos, aunque en este caso no de manera directa, sino a través del análisis de los fenómenos que se producen durante la desintegración del rayo cósmico en la atmósfera (radiación secundaria). Podríamos decir que en este caso el aire actúa como núcleo del detector, y los aparatos analizan los productos de la desintegración. Hay detectores de radiación Cherenkov (telescopios Cherenkov) que analizan el destello de luz ultravioleta que surge en la desintegración. Otros aparatos (matrices de detectores de centelleo) captan los electrones o incluso los muones generados en cascada cuando el rayo cósmico incide sobre el aire. Se deduce de este modo, de manera aproximada, la dirección de procedencia del rayo y su energía. Los detectores de rayos cósmicos basados en el suelo, aunque trabajen con radiación secundaria, permiten captar y estudiar más eventos y efectuar por tanto estadísticas significativas.

### deuterio

Uno de los isótopos del hidrógeno. El hidrógeno tiene tres isótopos: hidrógeno-1 (o protio; solo un protón en su núcleo), hidrógeno-2 (o deuterio; un protón y un neutrón) e hidrógeno-3 (o tritio; un protón y dos neutrones). Como uno de cada 6500 átomos de hidrógeno es de deuterio, y el hidrógeno es el átomo más abundante del universo, entonces el deuterio representa una fracción importante de la masa las estrellas. El deuterio, como el hidrógeno, se quema (en reacciones nucleares de fusión) en el interior de las estrellas. Los objetos más livianos que las estrellas, a los que llamamos **enanas marrones**, solo consumen deuterio. Aproximadamente 21 g de nuestro cuerpo es deuterio. El tritio habitualmente no forma parte de la materia porque su núcleo es inestable (cualquier cantidad de tritio presente en una muestra se reduce a la mitad, por desintegración espontánea, en poco más de una docena de años).

## día

Un intervalo de tiempo determinado, al cabo del cual se repite la posición de un astro respecto de un observador situado en la Tierra. Sin embargo, la longitud de ese intervalo de tiempo puede variar dependiendo del astro que se tome como referencia, lo que conduce a diferentes tipos de día: *sidéreo* y *solar*. Cuando observamos las estrellas lejanas el intervalo entre dos posiciones idénticas consecutivas representa el día sidéreo. Si estudiamos el Sol tendremos el día solar, pero, como el Sol a su vez se desplaza con respecto a la Tierra por el movimiento anual, ambos intervalos no coinciden. El día sidéreo es casi 4 minutos más corto que el día solar. Por eso si en un año solar hay 365 días solares, en total habrá 366 días sidéreos. En la actualidad la escala de tiempo en nuestros relojes es la del movimiento diurno del Sol pero coordinada con los relojes atómicos, que materializan el segundo. De este modo el día solar medio contiene 86400 segundos atómicos.

## diagrama de Hertzsprung-Russell

Conocido de forma abreviada como HRD, el diagrama de Hertzsprung-Russell es pieza central de la astrofísica y herramienta fundamental para estudiar las estrellas. Debe su nombre a los trabajos de los astrónomos Ejnar Hertzsprung y Henry Norris Russell. El HRD puede presentarse de diversas formas. En su forma original, el HRD representa la magnitud absoluta de una estrella en luz visible frente a su tipo espectral, que es una manera de estimar su temperatura. En resumen: colocamos (con la imaginación) todas las estrellas a la misma distancia, y representamos su brillo frente a su temperatura. Por convención, el eje horizontal del diagrama recorre las temperaturas de mayor a menor, mientras que el eje vertical recorre los brillos de menos brillante a más brillante. La mayoría de las estrellas se agrupan en torno a una línea en el diagrama que llamamos secuencia principal, que corresponde a la etapa más larga de su vida. Para un mismo tipo espectral, o temperatura, algunas estrellas tienen brillos mayores que sus compañeras de la secuencia principal. Puesto que dos cuerpos de igual tamaño y temperatura brillan aproximadamente igual, esto significa que las estrellas que brillan más para una temperatura dada son más grandes, por eso se las llamó gigantes (o incluso supergigantes), aunque sí resulta un poco extraño que se llamara enanas a las estrellas de la secuencia principal, simplemente para distinguirlas de las gigantes. Pero así ha quedado en la terminología astrofísica. Otras estrellas se apartan también, pero con brillos más pequeños que sus compañeras de la secuencia principal con igual temperatura. Por el mismo razonamiento anterior, son más pequeñas. A algunas se las conoce como subenanas, pero las más conocidas son sin duda las enanas blancas.

## disco circunestelar

Durante su formación, una estrella experimenta diferentes fases antes de alcanzar la estabilidad (lo que se denomina secuencia principal). En primer lugar, una nube interestelar de polvo y gas se fragmenta, se colapsa y da lugar a la aparición de varias regiones de densidad más elevada. Más tarde, las protoestrellas aparecen a partir de los coágulos o núcleos que continúan con el colapso de material. Con posterioridad, la conservación del momento angular (una cantidad física relacionada con la masa y la rotación) hace que se forme un disco alrededor del objeto central, el *disco circunestelar*, que proporciona material a la estrella (mediante **acrecimiento**). Finalmente, el disco termina por desaparecer, pero un sistema protoplanetario se puede formar durante esta última etapa. La fase de acrecimiento corresponde a los objetos de tipo T Tauri. Esta fase suele durar unos pocos millones de años, una fracción muy reducida de la existencia total de la estrella, pero de importancia crucial tanto para la estrella como para la posible formación de planetas alrededor de la misma.

## distancia focal

Imaginemos una lente convergente. Si incide sobre ella un haz de luz formado por rayos paralelos, estos rayos se desvían y, tras atravesar el material se concentran en un punto determinado, el foco. La distancia focal no es más que la separación que media entre la lente y el foco. Se puede definir el mismo concepto no para una lente convergente, sino para un espejo cóncavo. Un espejo cóncavo concentra en un foco los haces de luz paralelos que inciden sobre él y, por tanto, la distancia focal corresponde al espacio que media

entre el foco y el centro del espejo. Si se trata de elementos divergentes, como una lente divergente o un espejo convexo, el haz de rayos paralelos se separa después de incidir sobre ellos. En este caso se considera un foco virtual, el punto del que parecen irradiar los rayos divergentes que surgen de la lente o espejo. Por tanto también en estos casos se puede hablar de distancia focal, aunque se suele dar en números negativos para especificar el carácter divergente de los elementos ópticos implicados. Las lupas normales que se venden en las papelerías suelen tener una distancia focal de 25 cm, o sea, 0.25 metros. Otra manera de dar la distancia focal de una lente consiste en transformarla en la potencia de la lente. Se trata de tomar la distancia focal expresada en metros  $f$  y calcular su inverso,  $1/f$ . El resultado es la potencia en dioptrías. Así, las lupas habituales tienen  $1/0.25 = 4$  dioptrías.

## E

### eclipse

Fenómeno consistente en la ocultación de un astro por otro, visto desde un tercero. Hay eclipse solar cuando la Luna pasa entre la Tierra y el Sol, que se ve total o parcialmente cubierto. No sucede cada Luna nueva porque las órbitas lunar y terrestre están inclinadas  $5^\circ$  una respecto a otra. La Luna es cuatrocientas veces menor que el Sol, pero está en promedio cuatrocientas veces más cerca de la Tierra. Cuando coinciden los tamaños aparentes solar y lunar se puede producir un eclipse total de Sol: el disco solar brillante es reemplazado por la silueta oscura de la Luna y a su alrededor se aprecia la tenue corona solar. Si, en perfecta alineación, la Luna queda algo más lejos de la Tierra, el eclipse será anular. Un eclipse anular o total solo es visible desde la estrecha banda de totalidad, proyección de la sombra lunar sobre la superficie terrestre. A ambos lados se proyecta la penumbra, y en esas zonas el eclipse será parcial, igual que cuando Sol, Luna y Tierra no quedan exactamente alineados, y la sombra lunar no interseca la superficie del planeta. Un eclipse lunar total se produce cuando la Luna pasa entre la Tierra y el Sol, en fase de llena. Nuestra atmósfera refracta la luz solar hacia el cono de sombra terrestre, lo que causa el color rojizo de la Luna durante sus eclipses. Estos pueden ser también penumbrales, cuando la Luna atraviesa la penumbra terrestre, o parciales, cuando solo una parte de la Luna pasa por la sombra de la Tierra.

### eclíptica

Camino aparente seguido por el Sol sobre la esfera celeste a lo largo de un año, visto desde la Tierra. Esta trayectoria traza un círculo máximo sobre el firmamento. El plano de ese círculo se conoce como *plano de la eclíptica*. Los planetas del Sistema Solar siguen órbitas que están contenidas en ese plano de manera muy aproximada. Por eso todos los planetas aparecen proyectados sobre el cielo en las cercanías de la eclíptica.

### ecuación de tiempo

Corrección que hay que aplicar a la hora proporcionada por el reloj convencional para obtener la hora correspondiente al Sol verdadero en el mismo instante. Se debe a que el sol verdadero presenta irregularidades en su movimiento diurno como consecuencia de dos fenómenos: de un lado el efecto de proyección, pues el plano del movimiento no es perpendicular al eje de rotación de la Tierra y, por otro lado, el hecho de que la órbita de la Tierra es elíptica, y por tanto no se mueve al mismo ritmo en las distintas épocas del año. La corrección puede ser positiva o negativa y nunca es superior a 17 minutos.

### efecto Doppler

Se conoce por este nombre al cambio en la frecuencia de una onda como consecuencia del movimiento relativo entre emisor y receptor. Observamos este efecto numerosas veces en la vida diaria. Cuando un coche se nos acerca a gran velocidad, percibimos que el sonido del motor es más agudo que cuando se aleja de nosotros. Esta percepción se debe al hecho de que cuando el coche se acerca, las ondas sonoras emitidas parecen juntarse y aumenta su frecuencia; al contrario, cuando el coche se aleja, las ondas parecen separarse, lo que hace que la frecuencia disminuya. Este efecto es muy importante en astrofísica, donde el efecto se produce en ondas de luz. Cuando un objeto que emite luz, como una estrella o una galaxia, se acerca a nosotros, vemos sus ondas de luz con mayor frecuencia de la que fueron emitidas: las vemos desplazadas al azul. Si se aleja de nosotros, vemos que su luz se desplaza al rojo. Es el famoso «**desplazamiento al rojo**» de la luz. Como además el efecto es tanto más intenso cuanto mayor sea la velocidad entre el emisor y el

receptor, podemos usar el efecto Doppler para calcular la velocidad de las estrellas y galaxias respecto de nosotros. El efecto recibe su nombre del físico austríaco Christian Doppler.

### **efemérides**

Conjunto de tablas o grupo de datos que indican las posiciones calculadas para ciertos objetos celestes móviles en una serie de instantes determinados a lo largo de un intervalo de tiempo, normalmente un año. También se aplica este término a los conjuntos de datos que especifican el instante en el que se ha calculado que se van a producir determinados eventos significativos (posiciones especiales de planetas, fases lunares, eclipses de cualquier tipo, cambios de brillo de estrellas variables, etc.).

### **enana blanca**

Las enanas blancas son estrellas muy pequeñas y calientes, pero de masas comparables a la del Sol. Típicamente su radio es del orden de una centésima parte del radio solar, su temperatura unos 10 000 K (por lo que se ven de color blanco) y su masa la mitad del Sol. No obstante, al ser tan pequeñas, su brillo total es también escaso y son difíciles de observar. Las enanas blancas representan la fase última de la existencia de las estrellas similares al Sol. Algún día, al agotar toda su energía nuclear, el Sol comenzará a colapsarse y brillará solo por la energía que genere al contraerse (a diferencia de su estado actual, en que brilla por la energía nuclear liberada en su centro). Conforme se contraiga, su brillo irá decreciendo. El destino de una enana blanca, pues, es ir enfriándose y apagándose lentamente, mientras su densidad aumenta. Su densidad llega a ser enorme: un pedazo de materia del centro de una enana blanca del tamaño de un terrón de azúcar pesaría fácilmente cien toneladas en la superficie terrestre. A tales densidades se producen efectos físicos muy complejos que no podemos reproducir en nuestros laboratorios, lo que convierte las enanas blancas en objetos de estudio muy interesantes. La única forma que tiene una enana blanca de escapar a su destino consiste en incorporar materia nueva por **acreción** (procedente, por ejemplo, de una estrella compañera). Si ello ocurre, la enana blanca puede llegar a sufrir una explosión de **nova**, o incluso de **supernova**, lo que la destruirá por completo.

### **enana marrón**

Objeto de masa intermedia entre las estrellas más ligeras y los planetas gaseosos más masivos (aproximadamente, entre 0.072 y 0.013 veces la masa del Sol). Las enanas marrones, junto con los planetas, son objetos subestelares. Técnicamente, en el interior de un objeto subestelar no se consume hidrógeno de forma estable, al contrario de lo que ocurre en las estrellas de la secuencia principal. Sin embargo, las enanas marrones sí que consumen **deuterio** (un isótopo pesado del hidrógeno), al contrario de lo que ocurre en los planetas. El espectro de las enanas marrones más frías descubiertas por ahora se parece más al de Júpiter que al de las estrellas frías. La primera enana marrón, Teide 1, fue descubierta en las Pléyades por un grupo español en 1995.

### **energía oscura**

El agente denominado *energía oscura* constituye (junto con la constante cosmológica y otras opciones aún más exóticas) una de las hipótesis formuladas para explicar el carácter acelerado de la **expansión del universo**.

Si la energía oscura se mostrara como una solución adecuada, entonces, de acuerdo con observaciones recientes, resultaría que cerca del 95 % de la materia-energía del universo está en el sector «oscuro». Este sector estaría constituido por la **materia oscura** (una forma de materia no luminosa) y por esta energía oscura, cuyo origen y composición son desconocidos. En esta formulación, la energía oscura englobaría alrededor del 73 % del contenido del universo.

### **enrojecimiento interestelar**

Modificación que sufre la luz de las estrellas y otros cuerpos celestes al pasar a través del medio interestelar. También llamado *extinción interestelar*, es una combinación de absorción y esparcimiento de la luz al incidir en los granos de polvo del medio interestelar. La absorción y esparcimiento de la luz se producen cuando su longitud de onda es menor o igual que el diámetro de los granos de polvo. Siendo el diámetro de los granos interestelares del orden de la longitud de onda del ultravioleta o menor, son estas longitudes de onda

las que son absorbidas y esparcidas, no ocurriendo lo mismo, o al menos no con tanta intensidad, para longitudes de onda del visible, infrarrojo o radio. Por este motivo, las nubes interestelares son más eficientes esparciendo y absorbiendo luz azul que luz roja, así que mucha menos luz azul logra pasar a través de ellas. No solo es eso sino que, además, el polvo interestelar reemite la energía absorbida en el infrarrojo lejano. Es el mismo proceso que hace que el cielo sea azul durante el día o que el Sol se vea rojo al atardecer.

### **epiciclo**

Modelo geométrico ideado para explicar las variaciones en los movimientos aparentes de los planetas. Fue diseñado por Apolonio de Pérgamo a finales del siglo III a.C. basándose en la **teoría geocéntrica**. De esta forma, el planeta se movía en una órbita circular (epiciclo) cuyo centro se movía, a su vez, en otra órbita, también circular (el deferente) alrededor de la Tierra que era el centro de todo el sistema. Con esta combinación de movimientos se explicaba, con alguna aproximación, los movimientos retrógrados y estacionarios de los planetas. Con el paso del tiempo y la mejora en la calidad de las observaciones, fue necesario ir añadiendo cada vez más círculos al modelo para explicar los nuevos datos, lo que terminó por hacerlo impracticable. Con el desarrollo del **modelo heliocéntrico** y la explicación del movimiento planetario mediante órbitas elípticas, la antigua concepción de los epiciclos quedó obsoleta.

### **equinoccios**

Puntos de intersección de los planos de la órbita y del ecuador de la Tierra. Son dos y se denominan punto Aries (o vernal) y punto Libra (o hiemal); en ambos la declinación del Sol es cero, de ahí la palabra *equinoccio*, que proviene del latín y quiere decir «igual duración». Durante esos días, en cualquier lugar, el Sol estará 12 horas por encima del horizonte y otras doce horas por debajo. En el punto Aries el Sol pasa de estar al sur a estar al norte del ecuador, mientras que ocurre lo contrario cuando, medio año después, pasa por Libra. Estas posiciones señalan, respectivamente, el comienzo de la primavera y del otoño para observadores del hemisferio boreal y, por el contrario, el comienzo del otoño y la primavera para lugares del hemisferio austral. Los equinoccios se mueven debido a la precesión y por eso actualmente sus posiciones no yacen dentro de las constelaciones que les dan nombre.

### **esfera celeste**

Esfera imaginaria, de radio arbitrario, centrada en la posición del observador y sobre la cual se proyectan todos los cuerpos celestes y sus movimientos. Para especificar la posición de los astros sobre esta esfera se emplean las coordenadas celestes. La esfera celeste abarca todas las direcciones en torno al observador, pero normalmente solo se divisa la mitad, porque la otra mitad queda oculta bajo el suelo. La frontera entre la parte observable y la inobservable corresponde al horizonte del lugar.

### **espacio-tiempo**

El sentido común parece indicarnos que vivimos en un espacio de tres dimensiones (ancho, largo, alto), donde se desarrollan todos los eventos físicos del universo, siendo el tiempo un parámetro independiente que fija los acontecimientos a lo largo de la flecha temporal. Esta idea intuitiva del tiempo y el espacio constituye el marco donde se desarrolla la física de Newton y, en este contexto newtoniano, el tiempo es invariante para cualquier observador, mientras que las coordenadas espaciales de un determinado suceso se rigen por las ecuaciones de la relatividad de Galileo. Sin embargo, a comienzos del siglo XX, una serie de experimentos, de los cuales el más conocido es sin duda el diseñado por Michelson y Morley para medir la velocidad de la Tierra respecto a un supuesto sistema de referencia universal, cambiaron completamente nuestra visión del marco donde tienen lugar los fenómenos físicos. La primera consecuencia fue la constatación de la constancia de la velocidad de la luz para cualquier observador en reposo o en movimiento y, de ahí, la necesidad de unir las coordenadas espaciales y temporal en un mismo espacio matemático de cuatro dimensiones, denominado espacio-tiempo. Ahora el tiempo no es el mismo para cualquier observador, independiente de su posición y velocidad, sino que varía con la velocidad de observador, existiendo tantas reglas temporales diferentes como observadores diferentes tengamos. El concepto de espacio-tiempo fue introducido por Einstein en 1905 en su famoso artículo «Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento», donde sentó los principios de la **relatividad restringida** (o especial).

## **espectro**

Cuando la luz blanca atraviesa determinados elementos ópticos (prismas, redes de difracción o incluso gotas de agua) se desdobra y descompone (se «dispersa») en sus colores constitutivos. Cuando el elemento óptico dispersor es suficientemente potente, puede desdoblar los colores mucho más allá de lo que el ojo es capaz de apreciar. Lo que sucede en realidad es que la luz, que es una onda, se compone de diferentes frecuencias. Los colores azules que vemos tienen frecuencias algo mayores que los colores rojos. Los rayos infrarrojos (que no vemos y, por eso, no podemos propiamente llamarlos *colores*) tienen frecuencias todavía más pequeñas, y los rayos ultravioletas (que tampoco vemos) las tienen mayores que los colores azules y violetas. Así, descomponer la luz en colores es descomponerla en frecuencias. Llamamos espectro al resultado de separar las frecuencias presentes en la luz, o más precisamente la radiación, y medir la cantidad de energía recibida en cada una de esas frecuencias. Así, cuando hablamos del «espectro de Betelgeuse» estamos hablando de la cantidad de energía que recibimos de esta estrella en cada frecuencia de la luz. Pero podemos hablar del espectro de cualquier objeto que emita radiación.

## **espectro electromagnético**

Conjunto continuo e infinito de ondas electromagnéticas (ondas de luz) ordenadas en zonas en función de su longitud de onda (o frecuencia) y, por tanto, de la energía que transportan. De mayor a menor longitud de onda (de menor a mayor energía, de menor a mayor frecuencia) se tienen: ondas de radio, microondas, infrarrojos, luz visible, luz ultravioleta, rayos X y rayos gamma. En astronomía, el análisis de la luz emitida o reflejada por los objetos en el espacio en relación a sus diferentes longitudes de onda o energías es de gran importancia puesto que constituye la mayor fuente de información sobre el universo. Esto ha permitido la aparición de diferentes ramas de la astronomía en función de la zona del espectro electromagnético que se analiza como son, por ejemplo, la astronomía de altas energías (rayos X y gamma), la astronomía ultravioleta, la astronomía óptica (luz visible), la radio-astronomía y la astronomía infrarroja.

## **espectroscopia (o espectroscopía)**

Técnica observacional orientada al análisis de la composición espectral de la luz que se recibe de los astros. La luz (o, de manera más general, la radiación electromagnética) que emiten los cuerpos celestes contiene multitud de «colores» distintos. La espectroscopia permite analizar la composición de esa luz y deducir cuánta energía se recibe de un astro para cada «color» concreto (para cada longitud de onda, o para cada frecuencia). El gráfico que representa la intensidad de la luz en función del «color» (longitud de onda, o frecuencia) recibe el nombre de *espectro*.

## **estaciones astronómicas**

Cada uno de los cuatro periodos en que se divide el **año solar**. Su duración es de aproximadamente tres meses y el comienzo de cada una se define con el paso del Sol por los **equinoccios** y los **solsticios**. En el hemisferio norte, la primavera comienza aproximadamente el 20 de marzo (equinoccio de Aries), momento en el cual los días empiezan a ser cada vez más largos. El verano boreal comienza el 20 o 21 de junio (solsticio de Cáncer), alcanzándose en ese instante la duración máxima del tiempo de insolación. El otoño empieza en el norte el 22 o 23 de septiembre (equinoccio de Libra) y en este instante la duración del día y la noche es la misma y las noches se van alargando cada vez más hasta el 21 de diciembre (solsticio de Capricornio), día en el que la duración de la noche en el hemisferio boreal es máxima y que marca el principio del invierno en esa parte de la Tierra. En el hemisferio sur las estaciones van al contrario que en el norte. Las fechas exactas puede variar ligeramente de un año a otro.

## **estallidos de rayos gamma**

También denominados *fuentes explosivas de rayos gamma* o GRB (del inglés, *gamma ray bursts*), son las explosiones más energéticas observadas en el universo. Estas explosiones suelen ir seguidas de una emisión en el resto del rango electromagnético, que es conocida como postluminiscencia. Según su duración, se clasifican en GRB largos (que duran desde 2 segundos a varios minutos) y cortos (entre unos pocos milisegundos y 2 segundos). El mecanismo físico que los produce es diferente en cada caso. Así, los primeros están asociados a un tipo especial de supernovas, las **hipernovas**, que son producidas por la desaparición de estrellas extraordinariamente

masivas. El mecanismo más probable que causa los GRB de corta duración es la colisión y coalescencia de dos objetos estrellas de neutrones.

### **estrella**

Una estrella es una esfera de gas en un estado de equilibrio entre la gravedad que tiende a comprimirla y la presión del gas, que tiende a que se expanda. Las estrellas liberan energía en su interior mediante reacciones termonucleares. La energía generada se emite al espacio en forma de radiación electromagnética (luz), neutrinos (partículas «exóticas») y viento estelar (gas). Las estrellas se observan en el cielo nocturno como puntos luminosos, titilantes debido a las distorsiones ópticas que produce la turbulencia y las diferencias de densidad de la atmósfera terrestre. El Sol es una estrella que, al estar tan cerca, no se observa como un punto, sino como un disco luminoso cuya presencia o ausencia en el cielo terrestre provoca el día o la noche, respectivamente. Las estrellas más frías pueden tener temperaturas en superficie de aproximadamente 2000 °C mientras que las más calientes pueden llegar a unos 50 000 °C. Hay algunas estrellas en estados evolutivos muy avanzados que pueden ser aún más calientes. El Sol tiene una temperatura en superficie (el disco que observamos) de 6000 °C y en su núcleo se alcanzan los 15 millones de grados.

### **estrella binaria**

Sistema formado por dos estrellas vinculadas gravitatoriamente, de forma que se encuentran girando una alrededor de la otra (o, con más exactitud, ambas orbitan en torno al centro de masas común del sistema). La primera estrella binaria confirmada como tal fue descubierta por Herschel. Herschel detectó el movimiento relativo entre las dos componentes de Cástor, en la constelación de Géminis. Aunque en su momento se consideró un fenómeno extraño, hoy en día se considera que entre un tercio y la mitad de las estrellas que observamos son sistemas binarios.

### **estrella de neutrones**

Última etapa de la evolución de una estrella supergigante cuando, al agotarse su combustible nuclear, el astro sufre una explosión de **supernova**. Después de la explosión el núcleo de la estrella se colapsa hasta alcanzar una densidad tan elevada que los protones y electrones se combinan para formar neutrones, y el colapso continúa hasta que los neutrones logran frenarlo debido al principio de exclusión de Pauli. Cuanto mayor es la masa de una estrella de neutrones menor es su diámetro, pero si sobrepasa las dos masas solares (aproximadamente) seguiría colapsándose hasta convertirse en un **agujero negro**. En consecuencia las estrellas de neutrones son objetos muy compactos y muy masivos, del orden de un par de masas solares, comprimidas en esferas de unos 10 km de radio. Además, a causa del principio de conservación del momento angular, la contracción de la estrella hace que esta gire más rápido y, también, hace que su campo magnético se vuelva más intenso. Las estrellas de neutrones emiten potentes ondas de radio que son encauzadas por el campo magnético dentro de un haz que gira con la estrella con periodos que van desde unos milisegundos hasta algunos segundos, y en estos casos son conocidas como **púlsares**. Las estrellas de neutrones se pueden encontrar en restos de supernovas, como objetos aislados o en sistemas binarios.

### **estrella doble (o múltiple)**

Dos (o más) estrellas aparentemente muy cercanas entre sí. Según si se encuentran o no ligadas gravitatoriamente, las estrellas dobles se clasifican en parejas ópticas, si su proximidad es producto de la perspectiva visual, o **estrellas binarias**, si su movimiento relativo indica que se encuentran girando una alrededor de la otra.

### **estrella enana**

A pesar de que su nombre lleva a pensar en estrellas más pequeñas de lo habitual, se denomina *enanas* a las estrellas que se encuentran en la fase principal de su evolución, desde que nacen hasta que se agota el hidrógeno en su núcleo. Esta fase, conocida como **secuencia principal**, constituye prácticamente el noventa por ciento de la vida de la estrella. Así pues, la gran mayoría de las estrellas son enanas. Técnicamente se conoce a las estrellas enanas como estrellas de clase de luminosidad V. El Sol es una estrella enana de tipo G2V, donde G2 designa su **tipo espectral** y el número romano V la clase de luminosidad. No obstante, el término *enana* es confuso, porque existen algunas excepciones como son las **enanas blancas**, que ya no están en la secuencia principal, y

las **supergigantes azules**, de las que algunas están todavía quemando hidrógeno en el núcleo. Las estrellas no permanecen en su estado de enanas toda la vida, sino que pasan a ser gigantes o supergigantes, aunque en el curso de su evolución pueden volver a un estado de enana. El Sol, actualmente una estrella enana, será una gigante roja en cinco mil millones de años, y en otros quinientos millones de años volverá a ser una enana, en esta ocasión una enana blanca.

### **estrella Polar**

La estrella Polar (Polaris, alfa de la Osa Menor) es el astro más brillante de la constelación de la Osa Menor. A pesar de eso, no se trata de una estrella especialmente destacada, se clasifica como «de segunda magnitud» y desde los cielos contaminados de las ciudades cuesta incluso encontrarla. Por tanto es falso el mito tan extendido que afirma que la estrella Polar es la más brillante de todo el cielo; nada más lejos de la realidad. Lo que hace especial esta estrella es el hecho fortuito de que el eje de rotación de la Tierra apunta casi exactamente hacia ella por su lado norte. Por lo tanto, a medida que la Tierra gira esta estrella se mantiene siempre quieta en un mismo punto del cielo y no comparte el movimiento diurno de salida y puesta que afecta al Sol, la Luna y el resto de estrellas del firmamento. Eso hace que la estrella Polar sea muy útil como recurso de orientación en la noche y conocerla resulta fundamental para excursionistas, exploradores y navegantes. El eje de la Tierra no mantiene siempre la misma orientación en el espacio, sino que se va desplazando lentamente en un ciclo que dura unos 26 000 años. Por lo tanto, la estrella Polar no ocupará siempre en el futuro, ni ha ocupado siempre en el pasado, el lugar privilegiado que hoy tiene. En el Egipto faraónico hacía el papel de nuestra estrella Polar la estrella Thuban, alfa del Dragón.

### **estrella variable**

La variación del brillo de las estrellas puede deberse a una causa intrínseca o extrínseca, es decir, que la estrella tenga una variabilidad real o que su luz se vea interrumpida por un factor externo que puede ser otra estrella o una nube de gas interestelar. Según la causa de su variabilidad, las estrellas variables intrínsecas se dividen en: variables pulsantes, con variaciones del radio de la estrella; variables eruptivas, con cambios en su superficie, como llamaradas o eyecciones de materia, y variables cataclísmicas, que experimentan un cambio enorme de sus propiedades físicas, como las **novas** y las **supernovas**. Las novas deben su variación a la acumulación de materia recibida de su estrella compañera. Las estrellas pulsantes características son las **cefeidas**, para las que Henrietta S. Leavitt en 1912 descubrió que su periodo de variabilidad era proporcional a su luminosidad, con lo cual la determinación del periodo brinda una indicación muy fiable de su distancia. Las variables extrínsecas más frecuentes son las estrellas eclipsantes, que son estrellas binarias en las que la dirección de observación coincide con el plano de su órbita y vemos entonces una estrella pasar por delante de la otra, con lo que se producen eclipses periódicos. Las eclipsantes más abundantes son las de tipo Algol o tipo beta Lirae.

### **estructura del universo a gran escala**

El universo está poblado por objetos celestes de todos los tamaños, desde lo submicroscópico (partículas de los rayos cósmicos) hasta lo más grande (supercúmulos de galaxias). Cada escala espacial posee una estructura característica, constituida por objetos celestes concretos. Así, la escala interestelar o galáctica culmina cuando se consideran distancias del orden de cien mil años-luz, cuando se pasa a la escala intergaláctica, en la que los objetos característicos ya no son las estrellas y las agrupaciones estelares, sino las galaxias. A partir de unos treinta millones de años-luz se entra en el ámbito de la estructura del universo a gran escala. En este orden de tamaños, las piezas básicas son los grupos, cúmulos y supercúmulos de galaxias. Los grupos tienen una decenas de galaxias, mientras que los cúmulos albergan centenares, hasta miles de ellas. Los supercúmulos de galaxias contienen decenas de cúmulos y alcanzan extensiones de cientos de millones de años-luz. A escalas mayores aún, los supercúmulos se organizan en estructuras filamentosas, alargadas o planas, que dejan entre ellas grandes huecos vacíos. Esta estructura esponjosa adquiere carácter homogéneo e isótropo considerada a escalas superiores a los 500 millones de años-luz.

### **evolución estelar**

Proceso por el cual las estrellas cambian de apariencia exterior y de estructura interna con el paso del tiempo. Podemos pensar en la evolución estelar de igual forma que en la vida de los seres vivos, que a medida que envejecen sufren cambios en su organismo y su aspecto. El motor de los cambios de una estrella es la **nucleosíntesis**, la transformación de unos elementos químicos en otros mediante

reacciones nucleares. Así, tras nacer, las estrellas pasan la mayor parte de la vida en una fase tranquila, mientras queman hidrógeno en el interior y lo transforman en helio. Esta es la fase de mayor duración, la **secuencia principal**, que abarca el noventa por ciento de la vida de la estrella, y durante ella la estrella sufre pocos cambios. Pero apenas se agota el hidrógeno, la estrella acelera su evolución y sufre cambios notables, mientras va produciendo nuevos elementos químicos en el interior, cada vez más rápidamente. Los cambios de apariencia nos llevarán a clasificar las estrellas en diferentes clases, como por ejemplo enanas, gigantes, supergigantes y otras muchas. Las fases concretas por las que pasa una estrella, su historia detallada, dependen fundamentalmente de su masa. Cuanto mayor es la masa de la estrella, más rápida es su evolución y más corta su vida. Su destino final es también diferente, dependiendo de la masa: las estrellas de mayor masa se convertirán en supernovas y dejarán tras de sí un agujero negro o una estrella de neutrones, mientras que las de menor masa se convertirán en enanas blancas, estrellas pequeñas y calientes, que irán enfriándose eternamente.

### **expansión del universo**

Se ha observado que las distancias entre las grandes estructuras del universo (los cúmulos y supercúmulos de galaxias) se incrementan de manera progresiva. Este hecho observacional se denomina *expansión del universo* y fue descubierto por Edwin Powell Hubble y Milton Lasell Humason en 1929. Si se toman dos cúmulos de galaxias cualesquiera, la distancia entre ellos crece sin cesar, y lo hace no porque las galaxias o los cúmulos se desplacen, sino porque crece el espacio que media entre ellos. Es más, cuanto más distantes entre sí se encuentren los cúmulos considerados, más veloz es el incremento de la distancia. La intensidad de la expansión del universo en cualquier instante de su historia se valora por medio del parámetro de Hubble,  $H$ . El valor actual del parámetro de Hubble recibe el nombre de **constante de Hubble** y se simboliza como  $H_0$ . La expansión del universo no afecta a sistemas ligados gravitatoriamente, es decir, el proceso no altera las distancias entre los átomos de nuestros cuerpos, entre la Tierra y el Sol o incluso entre las estrellas de la Galaxia o entre galaxias pertenecientes a un mismo cúmulo. Las observaciones indican que la expansión del universo se está acelerando cada vez más, por motivos que aún no están claros.

## **F**

### **fisión**

Proceso por el que un núcleo atómico se rompe en dos o más núcleos más ligeros, liberando energía. La fisión puede producirse de modo espontáneo (cuando el núcleo atómico es muy inestable) o inducido mediante el choque con partículas como protones o neutrones, que hacen el papel de proyectil. La fisión es el fenómeno utilizado hasta ahora en las plantas nucleares encargadas de producir energía. El problema de su uso radica en que entre los nuevos núcleos que se forman tras la fisión hay elementos altamente radiactivos, lo que llamamos residuos nucleares, que plantean grandes problemas de almacenamiento.

### **formación estelar**

Proceso por el cual una nube inicial de gas molecular y polvo se transforma en una estrella. Brevemente, la nube original comienza a colapsarse debido a alguna perturbación exterior. En el colapso, la nube libera energía y aumenta en densidad. Aunque al principio la energía liberada es emitida al espacio en forma de radiación, llega un momento en que la densidad de la nube es ya tan grande, que impide que la radiación escape y la nube se calienta. Al continuar contrayéndose, siguen aumentando la densidad y la temperatura. Las moléculas y el polvo se rompen en sus átomos y estos en sus partículas constituyentes. Aunque los detalles son muy complejos, el final de la historia es sencillo: la temperatura aumenta tanto que pueden iniciarse las reacciones nucleares en el centro de lo que fue una nube molecular, y que se ha transformado en una estrella.

## **fotometría**

Técnica observacional (o conjunto de ellas) orientada a la medida del brillo aparente y el color de los cuerpos. La fotometría astronómica se aplica en particular al brillo y color de los objetos celestes. El brillo aparente de las estrellas se suele medir en astronomía por medio del esquema especial conocido como sistema de magnitudes. Las magnitudes se pueden medir en luz visible, en el infrarrojo o en el azul y ultravioleta cercanos, utilizando para ello unos filtros que solo dejen pasar unas determinadas frecuencias de la radiación emitida por el objeto celeste.

## **fotómetro**

De manera general puede decirse que un fotómetro es un instrumento de medida empleado en física para evaluar la intensidad de la radiación emitida en forma de luz por un objeto cualquiera. En un contexto astronómico se aplica esta denominación a los aparatos utilizados para medir el brillo de las estrellas o de otros astros. Los fotómetros suelen basarse en el efecto fotoeléctrico y funcionan, por tanto, gracias a la transformación de la luz en una señal eléctrica cuando incide sobre un material semiconductor. Resulta de este modo un fotómetro fotoeléctrico que con el paso de los años ha llegado a convertirse en «el fotómetro» por antonomasia en astronomía observacional. Los fotómetros se suelen colocar en el plano focal de los telescopios y miden la luz que nos llega de los astros. Si se anteponen filtros permiten evaluar la intensidad del brillo estelar en diferentes bandas del espectro electromagnético. Hoy día el uso de los fotómetros en astronomía se encuentra en decadencia, puesto que los detectores bidimensionales de estado sólido (sensores CCD, CMOS e infrarrojos) los sustituyen para la mayoría de las aplicaciones con más ventajas que inconvenientes.

## **fotón**

El fotón es la partícula de luz portadora la interacción electromagnética. Un fotón se caracteriza por su energía o, equivalentemente, por su frecuencia. Así, los fotones de mayor frecuencia tienen mayor energía, de forma que un fotón azul tiene más energía que uno rojo, y un fotón de rayos X tiene una frecuencia (y por tanto una energía) mayor que un fotón de radio. El fotón se desplaza con velocidad constante en el vacío, 299792.5 km/s, independientemente de la velocidad de quien lo observe. Al moverse a la velocidad de la luz (¡es la luz!), tiene masa nula.

## **fotosfera**

Zona de la atmósfera de una estrella de donde proviene la **radiación visible**. Esta radiación es originada en el núcleo de la estrella, y se transporta hacia las capas exteriores. En su viaje desde el núcleo hasta la superficie de la estrella, antes de llegar a la fotosfera, la radiación es absorbida y emitida de nuevo numerosas veces. Cuando finalmente el material de la estrella ya no es capaz de absorber la radiación, esta escapa de la estrella y llega a nosotros. La capa de la estrella donde se produce la última reemisión de luz visible es la fotosfera. Otras longitudes de onda de la luz (como los rayos X o las ondas de radio) pueden sufrir su última reemisión en capas diferentes.

## **fusión**

Proceso por el que dos (o más) núcleos atómicos se unen para formar un nuevo núcleo, mayor. Los núcleos originales pueden ser tan sencillos como dos núcleos de hidrógeno (es decir, dos protones) que darían un núcleo de helio (aunque desprovisto de sus dos neutrones) pero también pueden ser más complejos, como por ejemplo la fusión de un núcleo de carbono y uno de helio para dar un núcleo de oxígeno. Los procesos de fusión que producen elementos más ligeros que el hierro liberan grandes cantidades de energía, sin dejar residuos radiactivos. En particular, la fusión controlada de núcleos de hidrógeno es una de las grandes esperanzas de la humanidad para producir energía limpia de modo altamente eficiente. La energía electromagnética de todas las longitudes de onda que observamos procedente de las estrellas tiene su origen en las reacciones de fusión que suceden en los interiores estelares.

# G

## galaxia

Gran aglomeración de estrellas, gas y polvo que se mantiene unida debido al efecto de su propia gravedad. Las galaxias más pequeñas contienen unos millones de estrellas, mientras que las mayores poseen billones (millones de millones). Hay galaxias de diversos tipos: elípticas, espirales e irregulares. El Sistema Solar pertenece a una galaxia espiral. Esta categoría se caracteriza por poseer un disco aplanado de estrellas, gas y polvo, con brazos espirales en su seno. Las galaxias elípticas tienen estructura esferoidal o elipsoidal y suelen contener solo estrellas, con poco gas y poco polvo.

## galaxia activa

Galaxia de luminosidad excepcionalmente alta y variable que muestra signos de la existencia de procesos muy energéticos relacionados con su zona central o núcleo, también llamado AGN (**núcleo activo de galaxia**, *active galactic nucleus*). El brillo de este pequeño núcleo, que se manifiesta en todas las frecuencias desde ondas de radio a rayos gamma, sobrepasando el del resto de la galaxia, implica la existencia tanto de un enorme calentamiento térmico (temperaturas de millones de grados) como de un potentísimo acelerador de partículas. El origen de estos procesos es la caída de materia (véase **acreción**) hacia un agujero negro supermasivo en el centro de la galaxia. Galaxias Seyfert, cuásares, radiogalaxias o blázares son distintos tipos de galaxias activas.

## Galaxia, la

Nombre propio del gran sistema estelar o universo isla en el que habitamos. Nuestra Galaxia consiste en un gran conjunto de estrellas y materia interestelar con forma espiral. Consta de un núcleo central, un bulbo esferoidal que rodea el núcleo y un disco mucho mayor (unos 100 000 años-luz de diámetro) en el que las estrellas más brillantes trazan brazos espirales. El conjunto está rodeado por un halo de estrellas antiguas y cúmulos globulares. Se trata por tanto de un sistema espiral semejante a otras galaxias. Estudios recientes apuntan a la posibilidad de que la Galaxia sea del tipo de las espirales barradas. El Sol se halla en el disco de la Galaxia a unos 30 000 años-luz del centro. Cuando contemplamos la Galaxia desde su interior se nos muestra como una banda luminosa lechosa que cruza todo el firmamento: la Vía Láctea. Por eso a veces la Galaxia recibe el nombre de galaxia de la Vía Láctea.

## geocentrismo

Teoría astronómica que trataba de explicar el movimiento aparente de los astros contando con la hipótesis de que la Tierra era el centro fijo del universo. Fue formulada por Aristóteles, completada y ratificada por Ptolomeo y, a pesar de contar con detractores, en la antigüedad el geocentrismo parecía ser la teoría correcta. Finalmente su aceptación por la Iglesia y el feudalismo la convirtieron en la teoría dominante hasta el Renacimiento. Según el geocentrismo, los movimientos de los cuerpos celestes podían explicarse por combinaciones de círculos (**epiciclos**) centrados en la Tierra. Estos explicaban sus movimientos con bastante precisión, pero el descubrimiento de las leyes del movimiento celeste y la mejora en las observaciones hicieron cada vez más difícil sustentar su validez. Las combinaciones de círculos necesarias fueron cada vez más complicadas llegando a ser un problema inabordable. La **teoría heliocéntrica** que desarrolló Copérnico constituyó la solución definitiva y supuso, por tanto, una auténtica revolución en mecánica celeste.

## geodésica

Sobre una superficie, es la línea de mínima longitud que une dos puntos. El caso más simple correspondería a una superficie plana en la que las geodésicas son líneas rectas. Para superficies más complejas la definición depende de la métrica (es decir, de la forma de la superficie); así, en una superficie esférica la geodésicas son los arcos de los círculos máximos. Por último en la teoría de la relatividad general las trayectorias de las partículas corresponden a geodésicas trazadas en un espacio-tiempo curvo.

## **gigante azul**

De manera similar a las **gigantes rojas**, las gigantes azules son estrellas más grandes de lo habitual (pero mucho más pequeñas que sus compañeras rojas), lo que indica que ya están en una fase avanzada de su evolución, y más calientes, lo que justifica su color dominante azulado. Las estrellas cuando evolucionan tienden a enfriarse (al menos en las primeras fases), lo cual hace que si una estrella evolucionada mantiene un color azul, entonces su temperatura inicial debió de ser muy alta. Las gigantes azules son por tanto descendientes no muy lejanos de estrellas de alta masa. Al ser estrellas de alta masa, de las que hay pocas y evolucionan muy rápido, la fase de gigante azul es una fase breve y poco común. No hay demasiadas gigantes azules en la Galaxia, al menos comparadas con el mucho mayor número de gigantes rojas. Para complicar aún más su visión, las estrellas de alta masa (y por tanto, las gigantes azules) suelen estar en el plano de la Galaxia, donde el polvo y el gas acumulados nos impiden ver muy lejos. El Sol, al ser una estrella de baja masa, no pasará nunca por la fase de gigante azul, aunque sí pasará por fases en que será una estrella azul.

## **gigante roja**

Se trata de estrellas muy grandes y frías. Su tamaño, que puede llegar a unos pocos cientos de veces el radio del Sol, las hace merecedoras del término *gigantes* y su relativamente baja temperatura, de unos escasos 3000-4000 kelvin, las hace aparecer como *rojas* a nuestros ojos. Las gigantes rojas son el resultado de la evolución de estrellas de masa baja e intermedia, como nuestro Sol. Como estas estrellas son las más numerosas y sus vidas son largas, las gigantes rojas son muy abundantes. Su elevado número, junto con su gran brillo (porque la superficie que emite es muy grande) hace que aporten una fracción muy importante de la luz que vemos en nuestra Galaxia. Cuando agote su hidrógeno en el centro, el Sol se transformará en una gigante roja. Su atmósfera se expandirá y se extenderá hasta cubrir más allá de la órbita de la Tierra. Permanecerá en esa fase de gigante roja hasta que los procesos nucleares sean capaces de comenzar a transformar el helio en carbono en el centro de la estrella, momento en que reducirá considerablemente su tamaño. Pero volverá a ser una gigante roja más adelante, cuando agote el helio, y se prepare para expulsar las capas que formarán más adelante una nebulosa planetaria. Esta fase, conocida como *rama asintótica de las gigantes* o AGB (del inglés, *asymptotic giant branch*), es una de las más importantes en la evolución estelar, y se puede considerar un caso límite en las gigantes rojas.

## **gnomon ( o nomon)**

Un *gnomon* (o *nomon*) no es más que un palo o estilete clavado en una posición fija, que puede ser el suelo o una pared. Puede estar clavado ortogonal a la superficie o formando un cierto ángulo. Se trata del instrumento astronómico más sencillo que se pueda concebir. Sirve para estudiar el movimiento aparente del Sol a través de la evolución de la sombra que proyecta. Un gnomon vertical permite determinar la dirección del meridiano del lugar o la dirección de los puntos cardinales. Si se conoce la latitud del lugar, un gnomon vertical permite evaluar la oblicuidad de la eclíptica. Usado en ciertas condiciones puede servir para medir la latitud del lugar de observación. Un gnomon sencillo sirve también como reloj de Sol. Si la orientación del gnomon se elige de manera concienzuda, entonces puede servir para construir un reloj de Sol que indique no solo la hora solar local, sino también la época del año, los equinoccios y los solsticios. Si se emplazan gnómones en localidades lo bastante separadas y se coordinan las medidas del modo adecuado, este dispositivo tan sencillo puede usarse para medir el tamaño de la Tierra como lo hizo Eratóstenes en el siglo III antes de nuestra era. En definitiva, el gnomon constituye un ejemplo de instrumento sencillo capaz de brindar un rendimiento científico y didáctico considerable si se aplica con astucia.

## **Gran Explosión (Big Bang)**

Los modelos cosmológicos actuales coinciden en que el universo está en expansión, y en que al seguir la historia del cosmos hacia el pasado toda la materia y la energía que contiene se va concentrando más y más. Se deduce que el universo primitivo se hallaba en un estado de densidades y temperaturas enormes. Si se retrocede hasta la época más temprana que la ciencia actual es capaz de estudiar, entonces nos encontramos con el cosmos en el estado primigenio que corresponde a la Gran Explosión o Big Bang. Vemos por tanto que sería más adecuado entender la Gran Explosión como una etapa primitiva o una época de la evolución del cosmos, y no tanto como un suceso puntual concreto localizado en el espacio y en el tiempo.

## **Gran Implosión (Big Crunch)**

Algunos modelos cosmológicos del siglo XX consideraban la posibilidad de que el universo fuera cerrado, es decir, que contara con unas dimensiones finitas y por tanto con una masa total también finita. Estos universos cerrados presentaban la peculiaridad de que la fase de expansión (que correspondería al estado actual del cosmos) iba seguida en un futuro lejano por una fase de contracción, en la que los cúmulos de galaxias se aproximan unos a otros y la densidad del universo se incrementa paulatinamente en vez de descender como lo hace ahora. La evolución cósmica, en el marco de estos modelos, llevaba a un final del universo en forma de implosión catastrófica, un estado de densidad extrema simétrico a la fase primitiva de la Gran Explosión. La fase final de la etapa de contracción recibía a veces el nombre de Gran Implosión (Big Crunch). Hay que decir que estos modelos están descartados en la actualidad y que los estudios actuales son casi unánimes al apuntar a un modelo de universo en expansión permanente en el futuro.

## **gravitación universal**

Ley física enunciada por Isaac Newton que establece que una partícula de masa  $M_1$  ejerce una fuerza de atracción sobre otra de masa  $M_2$ , que es directamente proporcional al producto de las dos masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Esta ley es aplicable al estudio del movimiento de los cuerpos en el universo y, concretamente, ha sido utilizada para validar las leyes de Kepler del movimiento planetario.

## **grupo de galaxias (grupo local)**

Concentración de varias decenas de galaxias, con masas totales que alcanzan el billón de veces la del nuestro Sol. Los tamaños característicos de los grupos rondan el megapársec (3 millones de años-luz). El ejemplo más cercano lo ofrece el Grupo Local, al que pertenece nuestra Galaxia.

# H

## **helio**

Es el segundo elemento químico más ligero y, también, el segundo más abundante en el universo: casi un diez por ciento de los núcleos existentes son de helio. Tiene dos protones y dos neutrones en el núcleo, y dos electrones en la corteza. Todas las partículas del núcleo atómico se mantienen unidas gracias a la fuerza nuclear fuerte, de carácter atractivo, pero los protones, al tener carga eléctrica, introducen una cierta repulsión electrostática que perjudica la estabilidad del núcleo. Los neutrones aportan solo atracción nuclear, y no repulsión electrostática: contribuyen, por tanto, a que el núcleo sea estable. El helio se formó a partir del hidrógeno ya en el universo primitivo, y continúa formándose hoy en día en el interior de las estrellas a partir del hidrógeno. A su vez, el helio constituye la base a partir de la cual las estrellas fabrican el carbono, el oxígeno, y muchos otros elementos químicos.

## **heliocentrismo**

Teoría astronómica que explica los fenómenos y los movimientos de los cuerpos celestes tomando al Sol como centro del sistema. El heliocentrismo ya fue formulado en la antigüedad por Heráclides de Ponto y Aristarco de Samos, pero sería Copérnico quien lo sacaría definitivamente a la luz. Su idea de trasladar el centro del sistema de la Tierra al Sol simplificaba los cálculos y explicaba fenómenos astronómicos importantes como la alternancia de las estaciones en la Tierra y los movimientos retrógrados aparentes de los planetas. Además, para que el heliocentrismo funcionase, las dimensiones del universo tenían que ser mucho mayores de lo que se pensaba antes, lo que constituiría el primer paso hacia la idea de la infinitud del universo. A pesar de que de los cálculos que se derivaban del sistema copernicano seguían siendo complejos, la simplicidad de las bases, su coherencia y belleza matemática fueron suficientes para desbancar definitivamente el **geocentrismo**.

## hidrógeno

Es el elemento químico más sencillo y más abundante en el universo. El átomo de hidrógeno está formado por un protón (carga eléctrica positiva) en el núcleo y un electrón (carga eléctrica negativa) en la corteza, de modo que resulte un átomo eléctricamente neutro. Hay que notar que la pérdida de los electrones no cambia la naturaleza del elemento químico, como tampoco lo hace el añadir partículas eléctricamente neutras en el núcleo (neutrones). Así, un protón aislado es un núcleo de hidrógeno: sigue siendo hidrógeno, y un átomo de hidrógeno con un protón y un neutrón en su núcleo sigue siendo hidrógeno (si bien recibe el nombre especial de **deuterio**). El hidrógeno es el primer elemento que se formó, y se encuentra por todas partes en el universo. El hidrógeno es la base para la formación de todos los demás elementos químicos.

## hipernova

Fenómeno asociado al colapso de una estrella extraordinariamente masiva (entre 100 y 150 masas solares), que constituye un tipo especialmente brillante de **supernova**. Cuando el núcleo de una hipernova se colapsa en un agujero negro, se forman dos chorros de plasma con velocidades relativistas, que emiten una intensa radiación gamma. Debido a esto, las hipernovas son consideradas la explicación más aceptada para los **estallidos de rayos gamma** (GRB) de larga duración.

## historia del universo

El universo se halla en expansión o, dicho de otro modo, las distancias que median entre los objetos que pueblan el cosmos a las mayores escalas se están incrementando de manera paulatina. Si se invierte de manera imaginaria el transcurso del tiempo, es inevitable deducir que en el pasado el universo fue más denso y caliente. Al llevar este experimento mental hasta el extremo se deduce que el cosmos se hallaba en un estado de densidades y temperaturas extremadamente elevadas hace unos trece mil ochocientos millones de años. Ese estado y época primordiales reciben el nombre de **Gran Explosión** (o Big Bang). Las observaciones astronómicas y la física moderna han reconstruido, al menos a grandes rasgos, la historia del universo desde ese estado primigenio hasta la actualidad. En el universo primigenio no había cuerpos celestes tal y como los conocemos hoy día, sino que todo el cosmos se hallaba repleto de radiación y partículas subatómicas. Esa primera etapa recibe el nombre de era de la radiación y abarca desde la Gran Explosión hasta unos 300 000 años tras ella. En aquel momento la materia que poblaba el cosmos se tornó transparente y el universo pasó a estar dominado por la materia: se inició la actual era de la materia. Cada una de estas grandes eras contiene etapas más breves caracterizadas por fenómenos característicos. Los eventos cruciales de la era de la materia fueron, en su inicio, la formación de grandes estructuras cósmicas a partir de la materia primigenia no diferenciada, así como el nacimiento de las primeras estrellas y galaxias.

## horizonte de sucesos

Superficie esférica que rodea a un agujero negro en la cual la velocidad de escape coincide con la velocidad de la luz. No se trata de una superficie material, sino de un límite exterior imaginario, un punto de no retorno: todo lo que atraviesa este límite cae irremediamente al interior. Su radio es proporcional a la masa del agujero negro. Para un agujero negro no giratorio, el radio de esta región coincide con el **radio de Schwarzschild**. En las proximidades del horizonte de sucesos puede producirse la emisión de radiación por parte del agujero negro debido a efectos cuánticos

I

## inflación

Expansión exponencial del universo primitivo, tras la época de gran unificación, predicha simultáneamente por Alexéi Starobinski (científico soviético) y Alan Guth (científico estadounidense). Como consecuencia directa de esta expansión, todo el universo observable tiene su origen en una región del universo primordial pequeña y, por tanto, conectada causalmente. La teoría de la inflación resuelve uno de los enigmas clásicos de la cosmología: ¿por qué el universo parece ser plano, homogéneo e isótropo cuando basándose en la

física de la Gran Explosión se esperaría un universo heterogéneo con una gran curvatura? La teoría de la inflación también explica el origen de la estructura del cosmos a gran escala.

### **interferometría**

Técnica (no solamente astronómica) consistente en la utilización simultánea de varios telescopios o radiotelescopios similares, apuntando a un mismo objeto. Mediante la interferometría se mide con gran precisión el pequeño retardo en la llegada de una señal a cada telescopio utilizado, lo que permite producir mapas o imágenes de gran resolución angular, equivalentes a un único telescopio o radiotelescopio del tamaño del interferómetro.

### **interferómetro**

Instrumento para realizar interferometría. Los más numerosos y conocidos se componen de radiotelescopios, que trabajan en un único observatorio (con líneas de base de algunos kilómetros), o de manera coordinada a escala continental o incluso mundial (con líneas de base de miles de kilómetros). Se han llegado a implementar interferómetros que combinan antenas situadas en tierra con otras en órbita alrededor del planeta. Las grandes líneas de base permiten disponer, en algunos casos, de resoluciones angulares de fracciones de milésimas de segundos de arco. La interferometría con luz infrarroja o visible es mucho más compleja y se ha aplicado con éxito en instalaciones como el Very Large Telescope de ESO en el cerro Paranal (Chile).

### **isótopo**

Cada una de las variedades de núcleo atómico posibles para un mismo elemento químico, todas ellas con el mismo número de protones pero que difieren entre sí por el número de neutrones que contienen. Los átomos se componen de un núcleo (con protones y neutrones), en torno al cual orbitan los electrones. El número de protones (o *número atómico*) es la principal característica de un átomo, porque determina de qué elemento químico se trata. Así, el hidrógeno tiene un protón, el carbono seis y el uranio 92. El número de neutrones de un núcleo puede variar de un tipo de átomo a otro pero, aun así, al tratarse del mismo elemento sí se mantiene el número atómico. Por ejemplo, el hidrógeno puede tener en su núcleo dos, uno o ningún neutrón, el carbono seis, siete u ocho y el uranio natural 142, 143 o 146. Son isótopos los átomos que poseen el mismo número de protones pero distinto número de neutrones. Para nombrarlos se utiliza el símbolo del átomo seguido de un número, que es la suma de los protones y neutrones en el núcleo. Si fuera necesario utilizar un símbolo, se recurre al símbolo químico habitual del elemento pero precedido, como superíndice, de este mismo número. Así, los isótopos más abundantes del hidrógeno, carbono y uranio son el hidrógeno-1 ( $^1\text{H}$ , solo un protón), carbono-12 ( $^{12}\text{C}$ , seis protones y seis neutrones) y uranio-238 ( $^{238}\text{U}$ , 92 protones y 146 neutrones). Todos los isótopos de un átomo poseen las mismas propiedades químicas.

## **J**

### **Júpiter**

El mayor planeta del Sistema Solar se encuentra unas cinco veces más lejos del Sol que la Tierra. Júpiter está compuesto principalmente por hidrógeno y helio. Su masa es el doble de la de todos los planetas restantes juntos. Incluso con pequeños telescopios son observables sus cuatro satélites mayores (llamados galileanos: Ío, Europa, Ganímedes y Calisto) de los aproximadamente 80 conocidos en el sistema joviano, que también incluye unos anillos tenues. Desde Tierra son visibles las complejas formaciones meteorológicas en la capa de nubes de amoníaco, entre las que destaca la enorme Gran Mancha Roja que, con varios siglos de antigüedad, es un gigantesco huracán que podría contener holgadamente nuestro planeta en su interior. Varias misiones han sobrevolado este planeta, en ocasiones empleando su empuje gravitatorio para viajar más rápidamente a sus destinos. Se planean futuras misiones con el objeto de comprobar las posibilidades biológicas de algunos de sus satélites.

# K

## kelvin

Unidad de temperatura en el sistema internacional de unidades. Su símbolo es K (ca mayúscula). En la vida cotidiana medimos las temperaturas en grados centígrados, también llamados Celsius por su inventor. La diferencia entre la escala en kelvin y la centígrada estriba en que los kelvin tienen el cero en la temperatura mínima accesible (el cero absoluto), mientras que la escala centígrada pone el cero en el punto de fusión del hielo de agua pura. La temperatura en grados Celsius (o centígrados) se obtiene restando exactamente 273.15 a los kelvin. No se dice *grado kelvin* sino, simplemente, *kelvin* y es esta la unidad de temperatura utilizada en los trabajos científicos. Grados Celsius = kelvin – 273.15.

# L

## lente gravitatoria

Las teorías de la gravitación tanto clásica (de Newton) como relativista (de Einstein) indican que la luz tiene que verse afectada por la atracción gravitatoria. Por lo tanto, cuando un haz de luz pasa junto a un objeto masivo se tiene que desviar. Esta desviación puede compararse con el cambio de dirección de propagación que experimenta la luz cuando cambia de medio de propagación como, por ejemplo, al pasar del aire al vidrio. Cabe pensar, por tanto, que si se dispone una cierta cantidad de masa del modo adecuado, su gravitación puede ser capaz de desviar la luz de un modo parecido al efecto inducido por la refracción en una lente de vidrio. Este fenómeno recibe el nombre de lente gravitatoria. Lo que en principio podría parecer una especulación teórica se confirmó en el siglo XX a las escalas astronómicas más diversas. En un contexto cosmológico es frecuente que objetos muy masivos (galaxias, cúmulos de galaxias) se comporten como lentes gravitatorias que deforman, amplían e intensifican las imágenes de objetos situados por detrás. En el seno de la Galaxia se han observado también microlentes gravitatorias, fenómenos de intensificación de la luz debidos al mismo influjo gravitatorio pero actuando en sistemas menos masivos. Las lentes gravitatorias son un objeto de estudio intensivo en la astronomía actual y se utilizan para multitud de estudios en cosmología, búsqueda de materia oscura o investigación en el campo de los planetas extrasolares.

## ley de extinción interestelar

Relación matemática que describe la dependencia del valor de la extinción con la longitud de onda. La extinción depende de la densidad, tamaño, forma y composición de los granos de polvo del medio interestelar, así como de la longitud de onda de la luz en la que la estudiamos. Por eso representamos su valor en función de la longitud de onda. Existe una ley de extinción media para la Galaxia pero hay determinadas direcciones de observación que se desvían grandemente de esta ley media, sobre todo en el ultravioleta y en ambos sentidos, más extinción o menos extinción que la media general. Es muy importante conocer la ley de extinción para «desenrojecer» la luz que nos llega de los astros y así conocer su verdadera distribución espectral de energía y tener más información sobre su distancia y características físicas.

## ley de Hubble

A lo largo del siglo XX se descubrió que el universo está en expansión. Esto implica que los cúmulos de galaxias se alejan unos de otros porque el espacio que los separa va creciendo de manera progresiva. Edwin Powell Hubble y Milton Lasell Humason, descubridores de este fenómeno, se percataron del mismo porque la expansión cósmica induce un desplazamiento al rojo en los espectros de las galaxias lejanas. Si el desplazamiento al rojo se representa como  $z$ , Hubble estableció de manera empírica que su valor es proporcional a la distancia que nos separa de una galaxia,  $d$ . Podemos escribir por tanto  $z = H_0 d/c$ , donde la constante de proporcionalidad  $H_0$  se denomina constante de Hubble y  $c$  corresponde a la velocidad de la luz. Los modelos cosmológicos basados en la relatividad general han puesto de manifiesto posteriormente que la ley de Hubble, de carácter empírico, solo tiene validez en el universo local, para

distancias inferiores a unos cientos de millones de años-luz. Sí tiene validez general una ley similar, pero diferente, que se deduce de estos modelos cosmológicos, la llamada *relación velocidad-distancia*, que indica que la velocidad de separación  $v$  entre dos puntos cualesquiera es proporcional a la distancia que los separa,  $d$ , con la misma constante de Hubble como factor de proporcionalidad. Es muy frecuente confundir la relación velocidad-distancia (de validez general) con la ley de Hubble, una relación aproximada de carácter empírico. Muchas veces, también en textos académicos, se llega incluso a utilizar el mismo nombre, *ley de Hubble*, para las dos relaciones, con los riesgos de confusión que ello implica. La ley de Hubble también se denomina a veces *ley de Hubble-Lemaître*.

### **leyes de Kepler**

Conjunto de tres expresiones matemáticas mediante las cuales el astrónomo alemán Johannes Kepler describió el movimiento de los planetas alrededor del Sol en el siglo XVII. La primera indica que las órbitas planetarias son elípticas, no circulares, y que el Sol está situado en uno de los focos de las elipses. La segunda, conocida también como ley de las áreas, hace referencia a la constancia del momento angular, por lo cual cuando el planeta está más alejado del Sol (afelio) su velocidad es menor que cuando está más cerca (perihelio). Por último, la tercera ley relaciona magnitudes características de los planetas y sus órbitas, estableciendo que el cuadrado del periodo de revolución del planeta alrededor del Sol es proporcional al cubo del semieje mayor de la órbita. Las leyes de Kepler no solo se aplican a los planetas que orbitan alrededor del Sol, sino a todo cuerpo celeste que orbite alrededor de otro bajo la influencia de la gravedad.

### **límite de Roche**

Distancia más pequeña a la que puede estar un cuerpo que orbita alrededor de otro más masivo y mantenerse entero en virtud tan solo de su cohesión gravitatoria. En ausencia de otros efectos (fuerzas centrífugas o eléctricas), los satélites de un planeta solo podrían formarse más allá del límite de Roche, puesto que en el interior del mismo las fuerzas de marea impiden la agregación de materia, lo que da lugar a anillos de materia dispersa.

### **línea de base**

En un interferómetro, distancia entre cada par de detectores (telescopios). La mayor variedad en líneas de base permite una mejor cobertura espacial. La mayor línea de base de un interferómetro es lo que determina su resolución angular.

### **lluvia de estrellas**

Fenómeno que se produce cuando minúsculas partículas de polvo, procedentes de algún cometa, entran en la atmósfera terrestre a gran velocidad y se desintegran por fricción, lo que produce el rastro luminoso que llamamos **meteoro** o estrella fugaz. Si prolongamos las trazas de los meteoros pertenecientes a una misma lluvia, todos parecen provenir de una zona, el punto radiante. En realidad, todas las partículas entran paralelas en la atmósfera, pero al estar tan alejadas de nosotros la perspectiva nos hace verlas como provenientes de ese único punto. La constelación donde reside el radiante da nombre a la lluvia (Perseidas, Gemínidas, Oriónidas...). La lluvia de estrellas más conocida es la de las **Perseidas** o Lágrimas de San Lorenzo.

### **longitud de onda**

Distancia entre dos crestas consecutivas de una onda, en particular también de una onda electromagnética. La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia y, por lo tanto, a la energía de la onda. El rango visible del espectro electromagnético o, lo que es lo mismo, el intervalo de longitudes de onda que es capaz de percibir el ojo humano, es el comprendido entre 400 y 700 nanómetros.

### **luminosidad**

Medida de la radiación o energía emitida por un objeto celeste. Se da en unidades de potencia (por ejemplo en vatios, o en ergios por segundo), aunque suelen usarse también otras unidades como la luminosidad solar, que asciende a casi cuatrocientos cuatrillones de vatios (en concreto,  $382.6 \times 10^{24} \text{ W}$ ).

## Luna

La Luna es el único satélite natural de la Tierra. Se encuentra a 384 400 km de distancia de la Tierra y tiene un diámetro de 3476 km. Tarda en dar una vuelta alrededor de la Tierra unos 27.32 días. Debido a efectos de marea, el periodo de rotación de su eje coincide con el de traslación en torno a la Tierra, por lo que la Luna siempre presenta la misma cara al observador terrestre. A lo largo de su órbita, el cambio de posición de la Luna respecto al Sol hace que la parte iluminada vaya cambiando, lo que da lugar a las fases de la Luna (Luna nueva, cuarto creciente, Luna llena y cuarto menguante).

## lunación

Se llama así al intervalo entre dos fases idénticas de la Luna. También se denomina *mes sinódico* y su duración media asciende a 29.531 días o, dicho de otro modo, 29 días 12 horas y 44 minutos. Desde la antigüedad ha representado uno de los elementos básicos para contar y medir el paso del tiempo. Nuestros meses actuales tuvieron su origen en los meses lunares, pero científicamente no son útiles, pues las lunaciones no se corresponden con un número entero de días solares y los años solares son inconmensurables en lunaciones. Las fechas de las fases lunares van derivando sobre el calendario y vuelven a coincidir con los mismos días del año solar aproximadamente cada 19 años.

## luz

Se suele denominar *luz* a la radiación electromagnética que es visible al ojo humano, es decir, aquella cuya longitud de onda se encuentra entre 400 y 700 nanómetros. No obstante, en física se aplica, o se puede aplicar, este término de manera general a la radiación electromagnética en todo su rango. La luz tiene la particularidad de comportarse como onda y como partícula. De esta manera, las partículas de luz, llamadas fotones, presentan propiedades tanto ondulatorias como corpusculares. Y por otro lado, los colores que componen la luz (para la luz visible: rojo, amarillo, azul...) se atribuyen a oscilaciones de campos eléctricos y magnéticos en las distintas frecuencias o, desde el punto de vista corpuscular, a fotones de diferentes energías.

## luz zodiacal

Resplandor difuso y débil debido a la incidencia de la luz solar sobre las partículas microscópicas que llenan el espacio interplanetario. Esta distribución de polvo adopta forma lenticular con la eclíptica como plano de simetría. La densidad de partículas y su iluminación decrecen con la distancia al Sol, de modo que la luz zodiacal abarca toda la eclíptica pero se detecta mejor en las direcciones cercanas al Sol. Se manifiesta como un triángulo luminoso que en condiciones de observación óptimas se puede distinguir hacia poniente tras la puesta de Sol o hacia levante justo antes del amanecer.

# M

## magnetosfera

Región con un intenso campo magnético que rodea un objeto astronómico. En el caso de la Tierra, por ejemplo, este campo magnético protege el planeta, a modo de escudo, frente a las partículas con carga eléctrica y dotadas de alta energía procedentes del Sol (**viento solar**).

## magnitud

Sistema empleado en astronomía para la medida del brillo de los objetos celestes. Las estrellas más brillantes del cielo se clasifican como de primera magnitud, mientras que las más débiles perceptibles a simple vista pertenecen a la sexta magnitud. Entre ambas categorías se encuentran las magnitudes segunda, tercera, cuarta y quinta. Obsérvese que cuanto más brillo aparente muestra un objeto, menor resulta su magnitud. La escala se extiende hacia abajo (magnitud cero y magnitudes negativas) para astros muy brillantes, y más allá de sexta magnitud para objetos débiles que solo se detectan con telescopios. En la actualidad los métodos de medida permiten

evaluar las magnitudes con decimales. El Sol tiene magnitud -26; la Luna llena -12; los objetos más débiles detectados hasta ahora tienen magnitud 30, aproximadamente. La escala puede adaptarse para evaluar no brillos aparentes, sino luminosidades intrínsecas, y entonces resultan las denominadas *magnitudes absolutas*.

### **mancha solar**

Zonas oscuras que se aprecian sobre la superficie visible del Sol. Estas manchas surgen, participan de la rotación solar, cambian de forma y tamaño, y se disgregan o desaparecen. Suelen durar varios días, aunque las de mayor tamaño pueden mantenerse varias semanas. Una mancha solar típica presenta una zona interior más oscura, llamada *umbra*, rodeada de una zona de brillo intermedio y aspecto filamentoso, la *penumbra*. Las manchas se ven oscuras por su menor temperatura, unos 3700 K en la umbra (5700 K en la fotosfera circundante). La intensa concentración de campo magnético, que en las manchas puede ser miles de veces mayor que el campo magnético terrestre, inhibe los movimientos convectivos que calientan la fotosfera desde abajo y esto provoca el enfriamiento relativo que hace las manchas más oscuras. En la umbra el campo magnético es más intenso y prácticamente vertical, mientras que en la penumbra su intensidad es menor y sus líneas se van disponiendo horizontales. Las manchas suelen aparecer en grupos bipolares, con la mancha (o conjunto de manchas) líder, en el sentido de la rotación solar, con una polaridad magnética, y la última mancha (o conjunto), con la polaridad opuesta.

### **mareas**

En el ámbito terrestre, cambios periódicos del nivel del mar, producidos principalmente por las fuerzas gravitatorias que ejercen la Luna y el Sol. En el ámbito astronómico, los efectos de marea son un fenómeno más general, abundante y trascendental, que se da a todas las escalas (planetaria, estelar, galáctica, extragaláctica) en cualquier situación en la que dos partes de un mismo cuerpo extenso se ven atraídas con diferente intensidad por otro cuerpo, al estar a diferentes distancias de él. Así, por ejemplo, los lados cercano y alejado de una estrella con respecto al agujero negro hacia el que cae, o los dos lados opuestos de un cúmulo de galaxias que pasa junto a un cúmulo mayor. En el desgarramiento resultante no importa tanto el valor absoluto de la fuerza de gravedad como las pequeñas diferencias de esta entre dos puntos opuestos del cuerpo que la sufre.

### **Marte**

Cuarto planeta del Sistema Solar por distancia al Sol. Durante siglos su color rojizo y cercanía a la Tierra han cautivado la imaginación del ser humano y despertado su fantasía. Guarda numerosas similitudes con nuestro planeta, pero es más pequeño (aproximadamente la mitad de tamaño). Su atmósfera está compuesta esencialmente por dióxido de carbono pero actualmente es muy poco densa. Cada cierto tiempo, el viento es capaz de elevar importantes cantidades de polvo de la superficie y formar así enormes tormentas. Existen pruebas que sustentan la presencia de agua líquida en la superficie en grandes cantidades en el pasado. En la actualidad, el agua solo se puede encontrar en estado sólido bajo la superficie y en pequeñas cantidades en los polos, aunque también podría fluir brevemente por su superficie. Las posibilidades de vida pasada son también motivo de gran interés y numerosas misiones espaciales han venido estudiando este planeta desde hace décadas.

### **materia interestelar**

Materia que se encuentra en el espacio que hay entre las estrellas. En las galaxias elípticas el medio interestelar es relativamente pobre en gas y polvo, en las espirales la materia interestelar en cambio es abundante y se concentra sobre todo en el disco de las galaxias y en los brazos espirales. Debido a la materia interestelar las estrellas se ven más débiles y enrojecidas, procesos que llamamos extinción interestelar y enrojecimiento interestelar. Existen zonas en las que la materia interestelar se hace evidente, son las nebulosas en las que la densidad de la materia interestelar es tal que se absorbe y esparce la luz de las estrellas de manera muy eficiente hasta el extremo de impedir su paso (nebulosas oscuras). En otras zonas el material interestelar refleja la luz de las estrellas cercanas (nebulosas de reflexión).

## **materia oscura**

Observaciones acumuladas a lo largo de las últimas décadas sugieren que cerca del 95 % de la materia-energía del universo está en el sector «oscuro». Este sector estaría constituido por la materia oscura (una forma de materia no luminosa) y por la energía oscura, cuyo origen y naturaleza son desconocidos. En esta formulación, la materia oscura constituye alrededor del 23% del contenido de materia-energía universo y estaría formada por partículas exóticas no bariónicas que interactúan muy débilmente con la materia bariónica ordinaria.

## **mecánica celeste**

Rama de la astronomía y la mecánica que estudia el movimiento de los astros sometidos a fuerzas gravitatorias. Utilizando parámetros y variables que se puedan relacionar con las observaciones, los astrónomos pueden resolver las ecuaciones físicas del movimiento de los cuerpos. El origen de la mecánica celeste se remonta a los estudios de las órbitas de los planetas realizados por Kepler, que son recogidos en las leyes de Kepler, aunque fue Isaac Newton el que unificó las leyes del movimiento terrestres y celestes con su ley de la gravitación universal. A partir de entonces esta rama se ha ocupado del estudio de distintos problemas tales como los movimientos orbitales en sistemas estelares y planetarios, el movimiento de tres y de  $n$  cuerpos, rotación axial, precesión, mareas, figuras de equilibrio de sólidos en rotación, perturbaciones, etc.

## **medio interestelar**

El espacio que hay entre las estrellas dentro de una galaxia. Aunque parece vacío hay gas (99%) y polvo (1%) distribuidos de un modo muy irregular. Se estima que en galaxias como la de la Vía Láctea un 10-15 % de su masa reside en el medio interestelar. A partir de esta materia interestelar se forman las estrellas que, según su masa, la van devolviendo al medio interestelar suavemente en forma de vientos estelares o en forma de explosiones de supernova al final de su vida. Estas explosiones calientan el medio interestelar hasta temperaturas de un millón de kelvin y se forman burbujas de gas caliente e ionizado de muy baja densidad (fase caliente) que se van enfriando en contacto con el medio interestelar general neutro y más denso (fase fría), de unas decenas de kelvin. Se forman además unas zonas de transición de gas templado y de densidad intermedia (fase templada). El gas está compuesto mayoritariamente por hidrógeno y algo de helio, y el polvo consta de partículas de hidrógeno, carbono y silicatos. La densidad del medio interestelar oscila entre una milésima y un millón de átomos de hidrógeno por  $\text{cm}^3$  (la masa de un átomo de H es de  $1.67 \times 10^{-24}$  gramos), que es pequeñísima comparada con las densidades terrestres, como por ejemplo la del agua que es de  $1 \text{ g/cm}^3$  o la del oro que es de  $19.32 \text{ g/cm}^3$ .

## **medio interplanetario**

Material y campos magnéticos que pueblan el Sistema Solar en el espacio entre los cuerpos celestes (planetas, asteroides y cometas). Este medio está formado por polvo interplanetario, rayos cósmicos, plasma proveniente del viento solar y la combinación de los campos magnéticos del Sol y los planetas. La temperatura del medio interplanetario es aproximadamente de  $100\,000 \text{ K}$  y su densidad muy baja, del orden de cinco partículas por centímetro cúbico en la vecindad de la Tierra. Esta densidad disminuye conforme aumenta la distancia al Sol (la relación es de proporcionalidad inversa del cuadrado de la distancia). El reflejo de la luz solar en las partículas pulverulentas del medio interplanetario da lugar a un resplandor difuso que recibe el nombre de luz zodiacal y luz antisolar (*Gegenschein*).

## **megalito**

Del griego *megas* («gran») y *litos* («piedra»). Se trata de una gran roca con la que se ha construido una estructura o monumento. Esta construcción puede estar compuesta solo de una de estas rocas (menhir) o de varias. En el lenguaje común, suele denotarse por megalito a una gran piedra erigida por hombres prehistóricos del Neolítico o el comienzo de la Edad de Bronce, como monumento o marcador con un objetivo aún discutido. Stonehenge (situado en el condado de Wiltshire, Inglaterra) es uno de los ejemplos más conocidos de este tipo de construcciones prehistóricas y se trata de un monumento ceremonial y funerario que cuenta en su diseño con algunas alineaciones de carácter astronómico. Hay en el mundo otros megalitos erigidos con motivaciones o implicaciones claramente astronómicas.

## **Mercurio**

Planeta del Sistema Solar más cercano al Sol. Es el planeta más pequeño de nuestro sistema y posee la segunda mayor densidad, ligeramente inferior a la de nuestro planeta. Su órbita es bastante elíptica, con un radio medio de casi 0.4 au. Posee una tenue atmósfera básicamente compuesta de potasio y sodio y las temperaturas oscilan fuertemente entre la cara nocturna y diurna. Su formación geológica más reseñable es la cuenca Caloris, formada probablemente por el impacto con otro cuerpo. Observado desde la Tierra solo puede verse en las cercanías del crepúsculo o del amanecer, nunca demasiado lejos de nuestra estrella.

## **meteorito**

Se denomina así a toda partícula extraterrestre, o **meteoroide**, que penetra en la atmósfera terrestre y logra sobrevivir a la fricción y llegar hasta el suelo. A ese fragmento de roca proveniente del espacio lo llamaremos *meteorito*. Los meteoritos producen en la atmósfera *estrellas fugaces* (o **meteoros**), que si alcanzan un gran brillo son conocidos como *bólid*os. No es extraño que los meteoroides se rompan en su vuelo atmosférico y caigan en forma de varios fragmentos sobre la superficie terrestre. Observaciones de estos bólidos permiten reconstruir las trayectorias y obtener la zona de la superficie donde han caído, lo que ayuda a su recuperación de los meteoritos para su posterior estudio. Los meteoritos pueden ser rocosos, metálicos, o una mezcla de ambos. Su estudio nos informa sobre la composición e historia de los cuerpos del sistema solar. Se han recuperado más de 31 000 meteoritos, la caída de más de 1 000 de ellos fue observada por algún testigo.

## **meteoro**

Un meteoro es un fenómeno atmosférico, que puede ser aéreo, como los vientos; acuoso, como la lluvia o la nieve; luminoso, como el arco iris, el parhelio (aparición simultánea de varias imágenes del Sol reflejadas en las nubes y por lo general dispuestas simétricamente sobre un halo) o la paraselene (varias imágenes de la Luna reflejadas en las nubes); y eléctrico, como el rayo y el fuego de Santelmo. También se llama meteoro al rastro luminoso dejado en la atmósfera por cualquier cuerpo que entre en ella a gran velocidad, como es el caso de las llamadas estrellas fugaces, que pueden verse sobre todo en las noches con lluvia de estrellas, como la lluvia de las Perseidas. Se llama bólidos a aquellos meteoros cuya luminosidad sea superior a la del planeta Venus. Si un bólido es más brillante que la luna llena podrá sobrevivir y llegar al suelo en forma de meteorito.

## **meteoroide**

Cada una de las partículas pequeñas (hasta unos diez metros) que orbitan alrededor del Sol. Estas partículas están asociadas a los cometas y asteroides, pero también pueden haber sido arrancadas de satélites o planetas tras choques violentos con otros cuerpos. Cuando un cometa pasa cerca del Sol, la parte volátil del material del que está compuesto (hielo y rocas) se sublima, y deja en libertad las partículas de distintos tamaños que contenía, las cuales permanecen en la misma órbita. Estas partículas constituyen lo que podemos llamar un enjambre o tubo de meteoroides que, si corta la órbita terrestre, producirá una lluvia de estrellas (como las Perseidas). Cuando estas partículas se hallan en el espacio reciben el nombre de meteoroides, si penetran en la atmósfera terrestre o de cualquier otro planeta se calientan, se vaporizan parcial o totalmente y se llamarán estrellas fugaces o, más técnicamente, meteoros. Si son lo suficientemente grandes para llegar hasta el suelo sin volatilizarse totalmente se llaman meteoritos.

## **microondas**

Radiación electromagnética con longitudes de onda comprendidas, aproximadamente, entre 1 mm y 1 m, es decir, entre el infrarrojo y las ondas de radio. Muchos autores consideran las microondas como un segmento del espectro incluido dentro de las ondas de radio. La atmósfera posee varias ventanas de transmisión de microondas, que se utilizan para estudiar el universo frío. De especial relevancia resultan los estudios de formación estelar, objetos subestelares y, sobre todo, de la radiación cósmica de fondo, en todos los cuales es clave la tecnología de detección de microondas.

## **misión espacial**

Se llama misión espacial a cada uno de los satélites artificiales o sondas que se envían, con instrumentos a bordo, para hacer observaciones astronómicas o de investigación de la Tierra. Los satélites son misiones espaciales en órbita alrededor de la Tierra, del

Sol, de cualquier cuerpo del Sistema Solar o alrededor de los puntos de Lagrange, en cambio las sondas espaciales son enviadas hacia su destino sin posibilidad de retorno. Ejemplos de sondas espaciales son las naves Voyager 1 y 2 que actualmente están saliendo ya fuera del Sistema Solar. Los satélites artificiales, al final de su vida útil, se convierten en basura espacial a no ser que se les haga descender hasta penetrar en la atmósfera donde, por rozamiento acaban por desintegrarse.

### **monturas (de telescopios)**

Un telescopio astronómico posee una parte central, el dispositivo óptico encargado de captar las imágenes y, o bien registrarlas y analizarlas, o bien prepararlas para su observación por el ojo humano. Pero la parte óptica del telescopio requiere apoyarse sobre un dispositivo mecánico robusto y preciso que permita apuntarla hacia el firmamento y mantener la dirección de apuntado en el curso de la observación. Ese sistema mecánico recibe el nombre de montura. Un telescopio normal debe poder apuntar a cualquier lugar del firmamento y, en consecuencia, debe descansar sobre un sistema que conste de al menos dos ejes. Normalmente esos ejes son perpendiculares entre sí, pero se pueden disponer de varias maneras distintas. El diseño más simple desde el punto de vista mecánico corresponde a colocar un eje vertical y otro horizontal, de modo que el telescopio pueda ejecutar movimientos combinados arriba-abajo e izquierda-derecha. Se obtiene así la montura de tipo horizontal, también llamada altacimutal o acimutal. La mayoría de los telescopios grandes modernos poseen este tipo de montura. Un diseño alternativo lo constituyen las monturas de tipo ecuatorial, donde un eje es paralelo al eje de rotación terrestre y el otro está contenido en el plano del ecuador. De este modo el telescopio puede moverse en direcciones norte-sur y este-oeste. El sistema ecuatorial simplifica notablemente el control y manejo del telescopio, pero a costa de complicar la mecánica, lo cual lo hace adecuado para telescopios pequeños y de tamaño intermedio, pero inviable para grandes aparatos de la clase ocho metros, o mayores.

### **movimiento anual**

Movimiento aparente del Sol con respecto a la Tierra a lo largo del año. La posición del Sol se va proyectando en las distintas constelaciones del Zodíaco, El desplazamiento es de aproximadamente  $1^\circ$  al día, cada mes se desplaza unos  $30^\circ$  y se completa el ciclo en 12 meses. La órbita del movimiento se encuentra en un plano (eclíptica) que tiene una inclinación (llamada oblicuidad) de  $23.45^\circ$  sobre el ecuador. Esta oblicuidad es el origen de las estaciones del año (primavera, verano, otoño, invierno) debidas a la distinta inclinación con que inciden los rayos solares sobre los distintos lugares de la Tierra. Desde el punto de vista de las coordenadas, a lo largo del año varía la declinación (distancia al ecuador) del Sol, siendo cero en los equinoccios y alcanzando los valores máximos en los solsticios: positivo en el de Cáncer y negativo en el de Capricornio.

### **movimiento diurno**

Movimiento aparente de los astros para un observador sobre la superficie de la Tierra y que se debe a la rotación del sólido terrestre respecto a su eje. La Tierra gira de oeste a este (sentido directo o contrario a la agujas del reloj) y por ello los objetos celestes se mueven aparentemente de este a oeste. Durante ese movimiento los astros parecen describir círculos alrededor de los polos celestes. Dependiendo de nuestra latitud y de la distancia del objeto al polo, encontramos que algunas trayectorias circulares se ocultan por nuestro horizonte y estos objetos se dice que salen y se ponen. Otros objetos pueden verse en todas las alturas y se llaman circumpolares, y por el contrario hay objetos que nunca podremos observar pues están siempre por debajo de nuestro horizonte (anticircumpolares).

### **movimiento propio**

Se denomina movimiento propio de una estrella a la variación real de su posición en el cielo debido al movimiento relativo entre ella y el Sol, sin tener en cuenta otros efectos. El movimiento propio es, por tanto, una medida del desplazamiento verdadero de la estrella con respecto al Sistema Solar y está producido por la rotación de las estrellas alrededor del centro de nuestra Galaxia. Dada la distancia a la que se encuentran las estrellas, sus movimientos propios son imperceptibles al ojo humano y solo pueden medirse por medios muy precisos. Esta es la razón por la que, observadas a simple vista, las constelaciones parecen inalteradas desde la época de las primeras observaciones humanas realizadas por los astrónomos chinos y griegos.

# N

## **nadir**

Punto diametralmente opuesto al cenit. Definido por la intersección de la vertical astronómica con la semiesfera inferior del observador. Su altura en la esfera es de  $-90^\circ$ , por este motivo el nadir no es accesible a un observador sobre la superficie de la Tierra.

## **nebulosa**

Las nebulosas son concentraciones de gas (principalmente hidrógeno y helio) y polvo en el espacio interestelar. Algunas nebulosas son restos de estrellas que al final de su existencia han expulsado parte de su material (en procesos más o menos violentos) mientras que otras, por el contrario, constituyen lugares de formación estelar. Por atracción gravitatoria, las condensaciones de gas y polvo interestelares van comprimiéndose y el proceso puede dar lugar a la aparición de nuevas estrellas. Las nebulosas pueden ser de emisión, de reflexión, o nebulosas oscuras.

Las nebulosas de emisión pueden estar asociadas a estrellas moribundas (como las nebulosas planetarias y restos de supernovas) o a estrellas en formación (regiones HII). En ambos casos brillan debido a que los átomos del gas que las conforma son excitadas por la radiación ultravioleta de las estrellas cercanas. Un ejemplo típico de nebulosa de emisión es la nebulosa de Orión.

Las nebulosas de reflexión, como su nombre indica, reflejan la luz de estrellas próximas, como en el caso de la nebulosa que rodea el cúmulo estelar de las Pléyades.

Las nebulosas oscuras no emiten ni reflejan luz y solo se pueden ver como una mancha negra delante de un fondo brillante estrellado o nebuloso. Un ejemplo típico es la nebulosa de la Cabeza de Caballo (en Orión) o el Saco de Carbón (en la Cruz del Sur).

Antes de la invención del telescopio se llamaba *nebulosa* a todo objeto de apariencia difusa, por eso también se llamaba nebulosas a algunas galaxias y esta denominación se sigue encontrando de vez en cuando hoy día, sobre todo en textos antiguos.

## **nebulosa planetaria**

Una nebulosa planetaria se forma cuando una estrella de masa baja o intermedia (por debajo de 8 o 9 masas solares) alcanza los estados evolutivos finales y expulsa al espacio las capas externas, tras haber pasado las fases de gigante roja. De la estrella queda un residuo en forma de enana blanca, que emite radiación ultravioleta e ioniza el gas de la nebulosa planetaria. Los procesos de recombinación en el gas ionizado causan emisiones espectaculares en luz visible, ya que los elementos químicos que las componen (hidrógeno, nitrógeno, oxígeno) emiten radiaciones cada uno en un color (o longitud de onda) diferente y característico. El gas de la nebulosa se va expandiendo hasta desaparecer después de varias decenas de miles de años, y en el centro queda la estrella enana blanca. Estas nebulosas, en general, son anillos o burbujas pero, debido a las características del material circundante o al carácter binario del astro progenitor, pueden ser también elipsoidales, bipolares o hasta cuadrupolares. Las nebulosas planetarias deben su nombre a que en el siglo XVIII el astrónomo Wilhelm Herschel les encontró cierta semejanza con los discos planetarios, debido a sus formas aparentes aproximadamente circulares.

## **Neptuno**

Último planeta del Sistema Solar, que forma junto con Urano la familia de los planetas gigantes helados. Ambos planetas guardan entre sí numerosas similitudes. Debido a su largo periodo de traslación alrededor del Sol (más de 164 años terrestres) este planeta ha tenido tiempo de completar poco más de una vuelta completa desde que fue descubierto en 1846. Curiosamente, se dice que este planeta podría haber sido descubierto por Galileo más de dos siglos antes, porque lo observó, pero confundió el tenue planeta con una estrella

poco brillante. Entre sus satélites destaca el enigmático Tritón, que presenta una intensa actividad geológica. Fue la Voyager 2 la sonda que envió imágenes de este planeta (con una inmensa tormenta similar a la Gran Mancha Roja de Júpiter, que posteriormente desapareció) y de sus satélites, y descubrió seis de ellos.

### **neutrino**

Partícula elemental sin carga eléctrica y de masa ligera (cientos de miles de veces más ligeros que los electrones). Las reacciones nucleares que se producen en el seno de las estrellas generan grandes cantidades de neutrinos. Al tratarse de partículas que pueden pasar de manera casi transparente a través de la materia común, los neutrinos portan información directa sobre las condiciones que imperan en los interiores estelares. Sin embargo, su gran poder de penetración hace que sean muy difíciles de captar, aunque en las últimas décadas se han construido detectores de neutrinos de varios tipos, sensibles a las partículas de este tipo emitidas por el Sol y por las supernovas cercanas.

### **nomenclatura de objetos astronómicos**

La Unión Astronómica Internacional (UAI o también IAU por sus siglas en inglés) es el organismo reconocido internacionalmente para definir reglas específicas de nomenclatura astronómica y para asignar nombres a los cuerpos celestes descubiertos y a los accidentes del relieve hallados en ellos. Tenga cuidado de que no le timen vendiéndole el nombre de una estrella. Solo la Unión Astronómica Internacional (UAI) puede aceptar nuevas designaciones astronómicas, siempre con normas muy rígidas y establecidas, y en ningún caso la nueva designación implica una transacción económica. Un grupo de trabajo en el seno de la UAI se dedica a las designaciones de objetos astronómicos. En lo que se refiere a las estrellas, algunas tienen nombres tradicionales de origen árabe o latino (los griegos en cambio dieron nombre a las constelaciones) y las demás tienen números dentro de catálogos determinados o se las conoce por su posición en el cielo (coordenadas astronómicas). Desde hace unos años la UAI impulsa un programa de trabajo para asignar denominaciones oficiales a algunas estrellas dotadas de planetas, así como a los planetas mismos.

### **nova**

Del latín *nova* («nueva»), se denominó así a las estrellas nuevas que aparecían en el cielo, aunque estas estrellas ya existían y lo que se observaba, en realidad, era un incremento transitorio y muy brusco en el brillo aparente. En la actualidad se conoce que este fenómeno está asociado a estallidos en una enana blanca, que forma parte de un sistema binario y se encuentra recibiendo masa de la estrella compañera. El proceso de intercambio de materia termina por provocar reacciones de fusión nuclear en la superficie de la estrella enana blanca. Cuando este efecto se repite en el tiempo, se conoce como nova recurrente.

### **nube de Oort**

Conjunto de cuerpos menores, en su mayoría muy similares a los objetos transneptunianos y los cometas, que se encuentran en una región esférica externa al cinturón transneptuniano y que se extiende hasta los confines mismos del Sistema Solar (aproximadamente 1 año-luz). Su existencia fue postulada por Jean Oort en 1950 y, aunque no se han observado objetos en ella, dado que por sus pequeños tamaños son muy débiles, sí se han detectado muchos objetos provenientes de esa zona. Se trata de los cometas de largo periodo. A partir de las órbitas de estos Oort postuló la existencia de esta reserva de cuerpos helados. Algunos de ellos, por efectos de perturbadores externos (por ejemplo el paso de estrellas cercanas) son enviados hacia el interior del Sistema Solar y se transforman en cometas. La nube de Oort alberga entre un billón y cien billones ( $10^{12}$  -  $10^{14}$ ) de objetos, siendo su masa conjunta unas cinco veces la de la Tierra. Son, al igual que los objetos transneptunianos, reliquias de los objetos que dieron lugar a los planetas y que han sobrevivido sin ser engullidos por estos.

### **núcleo activo de galaxia**

Nuestra Galaxia es una espiral tranquila, al parecer del tipo barrado. Pero en el universo hay otras muchas galaxias de tipos muy diferentes, y entre ellas se encuentra el grupo de las galaxias activas. Las galaxias activas contienen un núcleo que emite energía en cantidades enormes y de manera muy violenta. Como es natural, esos núcleos reciben el nombre de *núcleos activos de galaxias* o, también, *núcleos de galaxias activas*. Las teorías más aceptadas atribuyen la emisión de energía a un agujero negro supermasivo situado

en el centro de estas galaxias, sobre el cual se precipita materia a un ritmo considerable. La caída del material induce su calentamiento y compresión, y desencadena la emisión de energía en todas las longitudes de onda del espectro. Con frecuencia los núcleos activos de galaxias emiten también chorros de materia en direcciones opuestas, unos flujos de partículas que recorren distancias cosmológicas en el espacio intergaláctico y dan lugar a fenómenos de emisión radioeléctrica. Los núcleos activos de galaxias pueden manifestarse de varias maneras distintas desde el punto de vista observacional, dependiendo de sus características intrínsecas y del ángulo bajo el cual se observan desde la Tierra. Tenemos así los cuásares (con o sin emisión de ondas de radio), los blázares, las radiogalaxias, las galaxias de Seyfert, etc.

### **nucleosíntesis**

Proceso por el que las reacciones nucleares transforman unos elementos químicos en otros. El elemento más sencillo es el hidrógeno, cuyo núcleo atómico consta normalmente de un solo protón. El número de protones determina la naturaleza del elemento químico. Así, el siguiente elemento es el helio, con un núcleo de dos protones y dos neutrones. El helio puede formarse mediante reacciones de los núcleos de hidrógeno con otras partículas (por ejemplo, otros núcleos de hidrógeno). Después, las reacciones entre los núcleos de helio pueden formar carbono, y de ahí oxígeno, neón, y otros elementos pesados como nitrógeno, hierro, oro... De este modo, los núcleos de todos los elementos químicos que conocemos se han creado en procesos relacionados con la evolución de las estrellas a partir de la fusión de núcleos más simples, comenzando con la fusión del hidrógeno. La nucleosíntesis es el origen de la energía de las estrellas, ya que la formación de los elementos más ligeros que el hierro libera energía. La masa de los productos de la fusión es menor que la masa de los núcleos fusionados y la diferencia se transforma en energía ( $E=mc^2$ ) y constituye la fuente de la radiación que recibimos de las estrellas.

## O

### **objeto de masa planetaria**

Según los modelos teóricos actuales, la fusión del **deuterio** (un isótopo del hidrógeno formado por un protón y un neutrón) en tritio (otro isótopo del mismo elemento que contiene un neutrón adicional) ocurre solo cuando la masa de un astro (una enana marrón o estrella) es superior a 0.013 veces la masa del Sol (o unas 14 masas de Júpiter). Aquellos objetos con masas menores no experimentan ninguna reacción nuclear en su interior durante ninguna de sus etapas evolutivas. Dado que su evolución es distinta (se enfrían de manera continuada, en un lentísimo proceso de muerte térmica) y debido a la similitud de sus propiedades observacionales con los planetas jovianos, se los denomina objetos de masa planetaria (IPMO por su acrónimo en inglés: *isolated planetary-mass objects*). Se han propuesto nombres alternativos, como planemos, oriones o xebarcos.

### **objeto subestelar**

Una estrella se caracteriza por su masa, que determina de manera esencial las propiedades observacionales y el tiempo que brillará a partir de la producción de energía debido a reacciones nucleares en su interior. Sin embargo, en el espacio se pueden encontrar objetos de apariencia estelar pero que, sin embargo, no tienen masa suficiente como para fusionar el elemento más sencillo, el hidrógeno, que consta de un solo protón. Esto es debido a que la presión y temperatura internas, consecuencia del peso todas las capas de material que se encuentran atraídas por la gravedad del objeto, no son lo suficientemente altas para iniciar la conversión de hidrógeno en helio. A estos cuerpos se los denomina objetos subestelares. La definición incluye tanto las enanas marrones, que en ciertos periodos evolutivos muy cortos pueden consumir un isótopo del hidrógeno denominado deuterio (un protón más un neutrón), como los objetos de masa planetaria, que carecen de esta reacción nuclear. Los modelos teóricos predicen que el límite subestelar se encuentra en una masa equivalente a 0.072 veces la del Sol, aunque en realidad depende ligeramente del contenido de elementos más pesados que el hidrógeno y el helio, aunque son una fracción mínima.

## **objeto transneptuniano**

Los objetos transneptunianos (TNO, del inglés *trans-neptunian objects*) son los cuerpos que pueblan la región llamada **cinturón transneptuniano** (también conocido como cinturón de Kuiper o de Edgeworth-Kuiper). Se trata de cuerpos de hasta unos 2000 km de diámetro compuestos básicamente de hielo de agua y de otros volátiles como metano (CH<sub>4</sub>) y nitrógeno (N<sub>2</sub>), y silicatos. Cuando la nube de gas y polvo que originó el Sistema Solar se condensó en el disco, las partículas heladas y de silicatos que estaban en la región fueron colisionando y agregándose hasta formar millones de objetos helados que quedaron orbitando alrededor del Sol. Muchos fueron absorbidos por los planetas, la mayoría fueron eyectados hacia zonas más alejadas del Sistema Solar. Considerando lo alejados que siempre han estado del Sol, y sus pequeños tamaños, el material que los forma es el menos modificado y poseen por tanto, información única sobre el origen y evolución del Sistema Solar.

## **observatorio astronómico**

Lugar sobre la superficie terrestre donde se sitúan instrumentos para la observación de los astros. Necesitan condiciones especiales como son: ausencia de contaminación lumínica, escasa humedad, falta de viento y cielos despejados. Otro factor importante es la altitud para, además del espectro visible, tener acceso a algunas bandas infrarrojas del espectro electromagnético que son muy atenuadas por el vapor de agua y el dióxido de carbono de la baja atmósfera. Los observatorios pueden dividirse en tres grandes grupos atendiendo a los objetos que estudian o al tipo de instrumentación: observatorios solares, nocturnos o de radio. Los observatorios solares tienen la peculiaridad de que observan de día al astro rey y suelen tener altas torres para conseguir distancias focales muy largas y aumentar la resolución espectral de las observaciones. Los observatorios nocturnos se dedican a todo tipo de fuentes astronómicas en ausencia de la emisión lumínica del Sol. Los radio-observatorios no utilizan telescopios, sino antenas de radio (radiotelescopios) que recogen la emisión en radio de los objetos celestes y son operativos las 24 horas del día.

## **observatorio espacial**

Dícese de los telescopios o cualquier otra instrumentación astronómica embarcada a bordo de satélites o plataformas espaciales. El objetivo es hacer las observaciones fuera de la atmósfera para evitar la atenuación y distorsión que producen los componentes y movimientos de la atmósfera terrestre. Los observatorios espaciales permiten observar en longitudes de onda menores (ultravioleta, rayos X, rayos gamma) y mayores (infrarrojo, microondas y radio) que las correspondientes a la luz visible. Además, las observaciones en el visible realizadas desde satélites son de mejor calidad, ya que de esta manera se pueden eliminar los efectos de la contaminación lumínica, de la turbulencia atmosférica y de los problemas meteorológicos, así como el ciclo noche-día, siendo posible alcanzar el límite de difracción como resolución óptica del instrumento. Los observatorios espaciales pueden trabajar de dos formas: en modo barrido, en el que se observa una franja determinada del cielo o todo él, por medio de imágenes contiguas consecutivas, o en modo observatorio, en el que se observa sucesivamente en direcciones específicas de interés astronómico.

## **observatorio virtual**

El observatorio virtual nos permite el acceso a bancos de datos de observaciones astronómicas realizadas por distintos observatorios terrestres y espaciales, así como a tablas de resultados de cálculos y archivos de datos teóricos aplicables en astronomía. Mediante la incorporación de nuevas tecnologías y estándares, permite a los usuarios un acceso sencillo y homogéneo a los datos, lo que evita el problema existente hasta ahora de las diferentes unidades de medida de la cantidad de energía recibida y de la longitud de onda, que se utilizan en los diferentes rangos espectrales. Ofrece también herramientas para el análisis y tratamiento automático de la ingente cantidad de observaciones disponible, así como de métodos de minería de datos para realizar un estudio eficiente y sistemático del enorme volumen de datos que habrá disponible en un futuro próximo a través de los nodos nacionales que forman una federación de centros englobados en el Observatorio Virtual Internacional. El Observatorio Virtual Español (SVO) tienen su sede en el Centro de Astrobiología, CAB (CSIC-INTA).

## **Observatorios astronómicos en España**

En el territorio español existen diversos observatorios astronómicos profesionales, cada uno con su propia historia y características peculiares. Ofrecemos una relación sintética de estos centros científicos, con alguna información breve sobre su historia y características.

- **Real Instituto y Observatorio de la Armada** (San Fernando, Cádiz). Constituido en 1753 a propuesta de Jorge Juan. Es el observatorio más antiguo de España. Mantiene una actividad reducida de carácter observacional en astronomía, pero una gran labor presente y futura como responsable del patrón de tiempo en España, generación de efemérides y múltiples estudios en astronomía de posición y mecánica celeste.

- **Observatorio Astronómico Nacional** (Alcalá de Henares, Madrid). Fundado en 1790 y dependiente del Instituto Geográfico Nacional (Ministerio de Fomento), administra un telescopio nocturno de 1.5 m en Calar Alto y los radiotelescopios del centro de Yebes, donde opera radiotelescopios de 14 m y de 40 m de abertura.

- **Observatori Fabra** (Barcelona). Fundado en 1904 en la sierra de Collserola, Barcelona, pertenece a la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona. En la actualidad desarrolla una actividad observacional restringida en astronomía, aunque prosigue su labor investigadora.

- **Observatori de l'Ebre** (Roquetes, Tarragona). Fundado en 1904, en la actualidad lo gestiona una fundación en la que participan el CSIC, la Agencia Estatal de Meteorología y la Universitat Ramon Llull, entre otros organismos oficiales y privados. Hoy día su labor astronómica se restringe al seguimiento de la actividad solar.

- **Observatori Astronòmic de la Universitat de València** (Paterna, Valencia). Fundado en 1909, el OAUV ha pasado por distintas fases y en la actualidad cuenta con dos telescopios de investigación en su estación de observación en Aras de los Olmos.

- **Observatorio Ramón María Aller** (Santiago de Compostela, La Coruña). Pertenece a la Universidade de Santiago de Compostela. Fundado en 1943. Ha efectuado desde sus inicios investigación especializada en estrellas dobles, la cual continúa con el telescopio de 62 cm.

- **Observatorio de Calar Alto** (Almería). Observatorio que surgió en 1973 como iniciativa hispano-alemana (Alemania Occidental) y que en la actualidad es de titularidad compartida entre la Junta de Andalucía y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Opera cuatro telescopios nocturnos de 80 cm a 3.5 m, ubicados en la Sierra de los Filabres, Almería, el primero de los cuales entró en funcionamiento en 1975.

- **Instituto de Radioastronomía Milimétrica** (Granada). El IRAM Institute de Radioastronomie Millimétrique) es una institución franco-germano-española que cuenta con un radiotelescopio submilimétrico de 30 m de diámetro en las faldas del pico Veleta, cerca de Granada, inaugurado en 1984.

- **Observatorio del Teide y Observatorio del Roque de los Muchachos** (Canarias). Los observatorios astronómicos de las Islas Canarias son dos, el Observatorio del Teide en Tenerife y el Observatorio del Roque de los Muchachos en La Palma. El Observatorio del Teide se encuentra en la zona de Izaña, alberga varios telescopios de 30 cm a 1.5 m inaugurados desde 1972 y pertenecientes a diversas instituciones y países del mundo. El Observatorio del Roque de los Muchachos, inaugurado en 1985, es uno de los más importantes del mundo y alberga telescopios pertenecientes a muchos países distintos, con aberturas entre 18 cm y 10.4 metros. El de mayor abertura se cuenta entre los telescopios más grandes del mundo, el Gran Telescopio Canarias. Ambos observatorios canarios incluyen instrumentos para uso nocturno y para observación solar.

- **Observatorio de Sierra Nevada** (Granada). El Instituto de Astrofísica de Andalucía, perteneciente al CSIC y fundado en 1975, posee y opera un observatorio nocturno en las faldas del pico Veleta, Granada, con telescopios de uso general de 90 cm y 1.5 m de abertura (junto a otros más pequeños para proyectos específicos).

- **Observatori del Montsec** (Àger, Lérida). Inaugurado en 2010, cuenta con un telescopio robótico de 80 cm (telescopi Joan Oró) y otros instrumentos de menor tamaño. Está situado en la sierra del Montsec, Lérida. Operado por el Institut d'Estudis Espacials de Catalunya a través de un convenio con la Generalitat de Catalunya.

- **Observatorio Astrofísico de Javalambre** (Arcos de las Salinas, Teruel). Situado en el pico del Buitre y gestionado por el Centro de Estudios de Física del Cosmos. Cuenta con un telescopio de 2.5 m y otro de 80 cm de abertura, y se dedica a realizar un cartografiado del universo para estudios cosmológicos.

### **ocaso**

El ocaso de un astro es el momento en que desaparece por el horizonte oeste. El ocaso del Sol va cambiando a lo largo del año. En los dos días de los equinoccios se pone exactamente por el oeste. En el hemisferio norte el Sol se pone entre el oeste y el norte en primavera y verano y entre el oeste y el sur en otoño e invierno. En el hemisferio sur es al contrario. La interacción de la luz solar con la atmósfera terrestre hace que haya claridad después del ocaso y antes del orto del Sol, lo que se conoce como crepúsculos. Además, la refracción atmosférica hace que el Sol o las estrellas se vean siempre por encima de su posición real y alarga el día en el orto y en el ocaso.

### **ondas gravitatorias**

Perturbaciones del espacio-tiempo que se propagan con la velocidad de la luz. Según la teoría de la relatividad, cualquier objeto que posea masa y experimente una aceleración se convierte en emisor de ondas gravitatorias, aunque en la actualidad solo se dispone de aparatos para detectar las más intensas, causadas por fenómenos muy violentos que involucran astros muy masivos como la colisión de estrellas de neutrones o la coalescencia de agujeros negros. La primera detección positiva y cierta de ondas gravitatorias se produjo en septiembre de 2015 y desde entonces se han mejorado las técnicas, la sensibilidad de los instrumentos y el número de estaciones detectoras de este tipo de radiación. Se abre así una ventana totalmente nueva al estudio del universo.

### **órbita**

Trayectoria que describe un cuerpo alrededor de otro, bajo el influjo de la fuerza gravitatoria. Las órbitas pueden ser circulares, elípticas, parabólicas o hiperbólicas. En el caso de los sistemas planetarios, como el Sistema Solar, los planetas giran en órbitas elípticas alrededor de la estrella central, que en nuestro caso es el Sol. El primero en percatarse de la naturaleza de las órbitas que describían los planetas alrededor del Sol fue Johannes Kepler, que caracterizó los movimientos planetarios en sus famosas leyes de Kepler. Por otro lado, algunos planetas tienen, a su vez, satélites orbitando a su alrededor. Otros cuerpos, como los cometas, describen órbitas muy excéntricas en torno al Sol, con periodos muy largos. En el Sistema Solar las órbitas elípticas de los planetas son casi circulares, mientras que en el caso de los exoplanetas descubiertos hasta ahora cunde una diversidad mucho mayor en la que no son extrañas las órbitas mucho más elípticas.

### **orto**

El orto de un astro es el momento en que aparece por el horizonte este, es decir cuando comienza a hacerse visible. En realidad, debido a la refracción atmosférica, el astro es visible un poco antes de su orto y después de su ocaso. En el caso de un astro con tamaño aparente, como el Sol o la Luna, el orto es el momento en que su limbo superior toca el horizonte. Las estrellas circumpolares (aquellas que por estar muy cerca del polo celeste visible describen un círculo completo sin cortar el horizonte) no presentan ortos ni ocasos, siempre se mantienen a la vista. Un caso particular de orto es el orto helíaco, que es el momento de la primera aparición por el horizonte de una estrella después de su conjunción con el Sol, poco antes de la salida del Sol. El orto helíaco de Sirio fue el origen del calendario en época de los egipcios. Los puntos del horizonte por los que una estrella sale y se pone en un lugar determinado son invariables a lo largo del año, no ocurriendo lo mismo para el Sol, la Luna y los planetas.

# P

## paralaje

Se llama paralaje al ángulo formado por las líneas de observación trazadas hasta un objeto desde dos puntos suficientemente separados. En el caso en que la separación sea el radio terrestre se habla de *paralaje diurna o geocéntrica*; cuando es el radio de la órbita de la Tierra alrededor del Sol se trata de la *paralaje anua*. La paralaje es un sustantivo femenino, y se mide en segundos de arco. La paralaje trigonométrica de una estrella es el ángulo bajo el cual se vería, desde esa estrella, el radio de la órbita terrestre. En astronomía se utiliza la paralaje trigonométrica para calcular distancias. Se define así la unidad de distancia pársec, siendo la distancia a una estrella en pársecs, la inversa de la paralaje trigonométrica medida en segundos de arco.

Para grandes distancias se utilizan otros métodos de determinación de distancias que, por motivos históricos, se designan también mediante el sustantivo *paralaje*, aunque no hay implicada en ellos la observación del objeto desde distintos puntos de vista. Tenemos así paralajes espectroscópicas (utilizando la relación entre el tipo espectral y la magnitud absoluta), paralajes dinámicas (aplicando las leyes de Kepler a sistemas binarios), paralajes cinemáticas (utilizando el movimiento propio y la velocidad de la estrella) o de grupos (para estrellas de cúmulos).

## pársec

Unidad de medida de distancia equivalente a unos 3.26 años luz, o  $3.086 \times 10^{16}$  metros. Se define un pársec (o parsec) como la distancia desde la que habría que observar el Sistema Solar para que la órbita terrestre subtendiera un ángulo de un segundo de arco. Generalmente, esta unidad de distancia (cuyo símbolo es pc) se utiliza para objetos de nuestra propia Galaxia: estrellas, nebulosas, etc. En astronomía, el uso del pársec como medida de la distancia es más útil que el año-luz, debido a que es relativamente sencillo calcular separaciones angulares de manera directa. Es frecuente también el uso de los múltiplos kilopársec (kpc, mil pársecs) y, en cosmología, megapársec (Mpc, un millón de pársecs).

## perigeo y apogeo

Son respectivamente, los puntos más cercano y más lejano en los que se puede encontrar un objeto que se encuentra girando en una órbita alrededor de la Tierra. Así por ejemplo, la Luna, que recorre una trayectoria elíptica en torno a la Tierra, se encuentra en el perigeo a una distancia aproximada de 350 000 km y en el apogeo a unos 400 000 km. Cuando la Luna se encuentra en el perigeo, las mareas lunares son mayores debido a que la distancia a la Tierra es menor y por lo tanto la atracción gravitatoria es mayor. De la misma manera, las mareas solares también son más intensas cuando la Tierra está más cerca del Sol. Nota: los valores exactos de las distancias Tierra-Luna en el perigeo y en el apogeo son 356 425 y 406 710 km.

## Perseidas

Se trata de una lluvia de estrellas. En el caso de las Perseidas, las partículas que conforman la corriente de meteoroides han sido producidas por el cometa 109P/Swift-Tuttle que, como todos los cometas, pierde masa cuando se acercan al sol. Todos los años sobre el 11-13 de agosto, la órbita de la Tierra cruza una nube de partículas producidas por este cometa, lo que produce la lluvia de las Perseidas. Si prolongamos las trazas de las Perseidas observadas en una noche, todas parecen provenir de una zona situada en la constelación de Perseo, de ahí su nombre. El otro nombre, lágrimas de San Lorenzo, viene de que esta lluvia de estrellas se produce alrededor del 10 de agosto, festividad católica de San Lorenzo.

## planeta

La definición oficial de la Unión Astronómica Internacional establece que un *planeta* es un cuerpo celeste que: (a) orbita alrededor del Sol, (b) posee suficiente masa como para que su propia gravedad domine las fuerzas presentes como cuerpo rígido, lo que implica una

forma aproximadamente redondeada determinada por el equilibrio hidrostático, (c) es el objeto claramente dominante en su vecindad, habiendo limpiado su órbita de cuerpos similares a él.

Esta definición se adoptó en 2006 y significó reclasificar **Plutón**, que hasta entonces se había considerado el noveno planeta del Sistema Solar.

### **planeta enano**

La Unión Astronómica Internacional define *planeta enano* como un cuerpo celeste que cumple las siguientes condiciones: (a) orbita alrededor del Sol, (b) posee suficiente masa como para que su propia gravedad domine las fuerzas presentes como cuerpo rígido, lo que implica una forma aproximadamente redondeada determinada por el equilibrio hidrostático, (c) no ha limpiado su órbita de otros objetos, (d) no es un satélite de un planeta.

Así, **Plutón** (descubierto en el año 1930), Ceres (el primer asteroide, hallado en el año 1801) y Éride (o Eris, identificado en 2005) son planetas enanos, junto a otros objetos más o menos parecidos y otros que, sin duda, se incorporarán a la lista en el futuro.

En particular, Plutón, antes considerado un planeta, perdió esa categoría al no cumplir una de las características que sí presentan los ocho planetas del Sistema Solar: no es el objeto dominante en su región del espacio, o dicho de otro modo, no ha logrado barrer su órbita, sino que comparte la zona con multitud de otros objetos del mismo tipo, los cuerpos que conforman el cinturón de objetos transneptunianos.

### **planeta extrasolar (o exoplaneta)**

La Unión Astronómica Internacional (UAI), en el año 2003, definió de manera provisional el concepto de exoplaneta. Según la misma, los planetas fuera del Sistema Solar deben orbitar alrededor de una estrella o remanente de estrella (enana blanca o estrella de neutrones) y tener una masa inferior a 14 masas de Júpiter. Debido a su reducida masa, no alcanzan temperaturas y densidades en sus interiores lo bastante altas como para fusionar deuterio o cualquier otro elemento químico. Por tanto, no producen energía a partir de este tipo de fuente. Según la misma resolución de la UAI, los objetos subestelares que tentan masas superiores a los anteriores, pero que no fusionan hidrógeno, se deben denominar enanas marrones. Por otra parte, los objetos aislados de masa planetaria, con masa por debajo del límite de las 14 masas de Júpiter, se deben denominar sub-enanas marrones o cualquier otro nombre que sea apropiado, pero nunca planetas. Por supuesto, estas definiciones podrían modificarse según el conocimiento avance. Se han propuesto alternativas a la expresión sub-enana marrón, como planemos, oriones, o xebarcos.

### **planeta gaseoso o joviano**

Los planetas gaseosos son aquellos constituidos principalmente por gases, en particular hidrógeno y helio. En nuestro Sistema Solar pertenecen a esta categoría Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, aunque en estos últimos el hielo es un componente tan sustancial en su composición que se tienden a clasificar en la categoría de los *gigantes helados*. Los planetas gaseosos, dependiendo de sus mecanismos de formación, no tienen por qué poseer un núcleo sólido rocoso, sino que pueden consistir en un continuo de gases paulatinamente más densos que adquieren finalmente las propiedades de un fluido cuando se encuentra a alta presión. En el caso de Júpiter y Saturno el hidrógeno gaseoso en estado molecular da paso a un estado conocido como *hidrógeno metálico*, con unas propiedades particulares, y se considera que poseen en los centros unos núcleos sólidos. La inmensa mayoría de los planetas extrasolares descubiertos hasta la fecha son probablemente planetas gaseosos debido, al menos en parte, a que los actuales métodos de detección discriminan mejor los planetas de mayor masa.

## **planeta rocoso o telúrico**

Los planetas rocosos, también llamados telúricos, son los planetas formados principalmente por silicatos, en los que las atmósferas son secundarias y están influidas por la actividad geológica y, en el caso de la Tierra, por la actividad biológica. En el Sistema Solar existen cuatro planetas rocosos: Mercurio, Venus, la Tierra y Marte. Curiosamente, los primeros planetas descubiertos más allá de nuestro sistema eran de tipo rocoso, aunque solo pudieron detectarse gracias a que orbitaban en torno a un púlsar, un tipo peculiar de estrella. Solo a partir del año 2005 se logró afinar los métodos de detección de planetas extrasolares para encontrar sistemáticamente planetas de este tipo alrededor de estrellas normales. La búsqueda y caracterización de planetas similares al nuestro se ha convertido en el eje de algunas misiones de exploración espacial y ya se han descubierto varios con grandes posibilidades de mostrar grandes semejanzas con la Tierra.

## **planetario**

Un planetario es un dispositivo óptico y mecánico que permite proyectar sobre una bóveda una representación realista del firmamento nocturno. Antes de la era digital los planetarios constituían obras de ingeniería optomecánica de gran precisión que proyectaban sobre cúpulas reproducciones muy fidedignas, y a veces enormes, de la bóveda celeste. Solían incluir miles de estrellas, los objetos nebulosos observables a simple vista, la Vía Láctea, la Luna y los planetas de Mercurio a Saturno. La revolución digital ha traído los planetarios computerizados, donde la proyección no se basa en elementos ópticos fijos, sino en dispositivos equivalentes en el fondo al cañón de proyección de un ordenador, lo que permite proyectar configuraciones estelares arbitrarias sin necesidad de piezas móviles. Aunque la calidad de las imágenes de los planetarios digitales es inferior a la de los dispositivos clásicos optomecánicos, la versatilidad que ofrece su carácter programable los está haciendo cada vez más populares. Los planetarios, de cualquier tipo, constituyen herramientas didácticas muy poderosas para la divulgación y la enseñanza de la astronomía, y suelen ser una pieza central en los museos de ciencia de todo el mundo.

## **plutoide**

Designación genérica para la categoría de objetos celestes que están en órbita alrededor del Sol y cuyo semi-eje mayor es mayor que el de Neptuno, y tienen masa suficiente para que su propia gravedad supere las fuerzas de cuerpo rígido de tal modo que asumen una forma casi esférica de equilibrio hidrostático, y que no han vaciado la vecindad de su órbita de otros cuerpos. Cualquier objeto transneptuniano grande, que cumpla simultáneamente la definición de planeta enano, será automáticamente un plutoide. Los primeros miembros de esta categoría fueron Plutón, Éride (o Eris), Makemake y Haumea. En principio, todo objeto transneptuniano que tenga un diámetro aproximado de unos 800 km es candidato a ser considerado un plutoide y se le asignará un nombre como si lo fuera. Se espera que más plutoides reciban nombres a medida que la ciencia progresa y se realicen nuevos descubrimientos.

## **Plutón**

Este **planeta enano** del Sistema Solar fue descubierto en 1930 por C. Tombaugh. Se clasifica como planeta enano, y no planeta, porque no satisface una de las características que definen a los ocho planetas (Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno): no ha limpiado su órbita de otros objetos, ya que comparte la misma región del espacio con multitud de otros objetos de tamaños similares, o incluso mayores. Plutón es el prototipo de los **plutoides**, que son aquellos planetas enanos (por tanto, de características análogas a las de Plutón) localizados más allá de la órbita del planeta Neptuno (cuya distancia es unas 30 veces la que separa a la Tierra del Sol o unidades astronómicas). Plutón tiene un satélite de masa muy similar a él, denominado Caronte, descubierto en 1978, además de otras lunas más pequeñas: Nix, Hidra, Cerbero y Estigia.

## **polos norte y sur**

De forma equivalente a como se hace en el caso del sólido terrestre, podemos considerar, para un observador, una línea paralela al eje de rotación de la Tierra, que tendrá dos puntos de intersección con la esfera celeste. Estos puntos son diametralmente opuestos y se denominan polos celestes. El polo norte celeste es el que se encuentra por encima del horizonte si el lugar de observación es del hemisferio norte (latitud positiva), mientras que estará por debajo del horizonte de lugares situados en el hemisferio sur (con latitud

negativa). Lo contrario ocurre con el polo sur celeste. En cada caso la altura del polo es igual a la latitud del lugar. Los objetos a lo largo del día parecen describir círculos con el centro en el polo celeste.

### **precesión**

En astronomía se conoce como la variación principal que experimenta la Tierra en la dirección de su eje de rotación. Debido a este fenómeno, las coordenadas de las estrellas varían con el transcurso del tiempo. En el año 129 a.C. Hiparco, comparando sus observaciones con otras anteriores (700 años a.C.), detectó un desplazamiento de 50.4 segundos de arco por año, y lo interpretó como una rotación de toda la esfera en sentido antihorario; como cada año el Sol llega al equinoccio antes que al año anterior lo denominó *precesión* (o sea, «adelanto») de los **equinoccios**, en tiempos de Hiparco el equinoccio de primavera se encontraba en la constelación de Aries y hoy se encuentra en la de Piscis. En 1600 Copérnico dio la interpretación del fenómeno: el eje de rotación de la Tierra describe, en aproximadamente 25800 años, un movimiento retrógrado, manteniéndose sobre la superficie imaginaria de un cono con 23.45° de abertura, las estrellas permanecen fijas pero los polos se desplazan entre ellas. La explicación está en la dinámica de Newton: la Tierra no es esférica y su eje de rotación no es perpendicular a los planos orbitales del Sol y la Luna, cuya atracción gravitatoria sobre el abultamiento ecuatorial da lugar a un par de fuerzas sobre el eje de rotación, lo cual induce el movimiento de precesión.

### **púlsar**

Estrella de neutrones en rápida rotación y con su intenso campo magnético inclinado respecto al eje de rotación, y orientada espacialmente de tal modo que las ráfagas de radiación sincrotrón emitidas por su campo magnético barren la Tierra en cada giro. Los púlsares fueron descubiertos en 1967 por Jocelyn Bell Burnell como fuentes de radio que pulsaban rápidamente con frecuencias constantes. Los púlsares realmente no pulsan, sino que emiten ondas de radio que escapan por los polos del potente campo magnético de la estrella. Debido a que el eje del campo magnético no coincide con el eje de rotación, estos potentes chorros de ondas de radio describen un cono alrededor del eje de rotación de la estrella y desde el punto de vista de un observador situado en la Tierra aparecen y desaparecen como la luz de un faro, siempre que la orientación del astro sea la adecuada. Los periodos de rotación típicos de los púlsares van desde el milisegundo a unos pocos segundos. Un ejemplo de púlsar muy conocido es el que se ha encontrado en la nebulosa del Cangrejo (constelación de Tauro). Este pulsar se encuentra en el mismo punto en el que los astrónomos chinos registraron una brillante supernova en el año 1054 y permitió establecer la relación entre supernovas, estrellas de neutrones y púlsares.

## Q

## R

### **radiación de fondo de microondas**

Radiación electromagnética procedente del universo primigenio, generada durante la recombinación (formación de los primeros átomos neutros por la captura de electrones por parte de los neutrones), algo más de 300 000 años tras la **Gran Explosión** (también conocida como Big Bang). Descubierta en 1965 y motivo de un premio Nobel a los ingenieros Arno Penzias y Robert Wilson en 1978, su espectro corresponde a la emisión de un cuerpo negro con una temperatura de 2.7 K (-270.5°C). Dada su gran uniformidad en todo el cielo, es considerada la prueba más sólida del modelo cosmológico asociado a la Gran Explosión.

### **radiación de Hawking**

Es un tipo de radiación producida en el **horizonte de sucesos** de un agujero negro debida a efectos cuánticos denominados fluctuaciones cuánticas del vacío. El vacío cuántico está repleto de partículas virtuales. Cerca del horizonte, estas pueden absorber energía del intenso campo gravitatorio presente y convertirse en partículas reales, creándose pares partícula-antipartícula a partir del vacío. Tales pares se aniquilan inmediatamente entre sí, pero puede ocurrir que una de las partículas se forme en el interior del horizonte y la otra pueda escapar del agujero negro. Este proceso produce la emisión neta de radiación por parte del agujero negro y la disminución

de masa de este. Esta pérdida gradual de masa y, por tanto, de energía se conoce como evaporación de un agujero negro. Para un observador lejano, esta emisión corresponde a la de un cuerpo negro cuya temperatura es inversamente proporcional a la masa del agujero negro.

### **radiación electromagnética**

Se entiende por radiación electromagnética las ondas producidas por la emisión de energía debida a la oscilación o aceleración de las cargas eléctricas. Las ondas así originadas tienen componentes eléctricas y magnéticas oscilantes, que se propagan por el espacio transportando energía que desde un punto de vista cuántico pueden interpretarse en términos de paquetes denominados fotones. A diferencia de otros tipos de onda como el sonido, las ondas electromagnéticas no necesitan medio material para propagarse y pueden hacerlo en el vacío, donde alcanzan su máxima velocidad, la *velocidad de la luz*,  $c$ , que asciende a casi 300 000 km/s. En función de su longitud de onda, las ondas electromagnéticas pueden dividirse en diversos rangos espectrales; desde las de longitud de onda larga, como las de radio o microondas, hasta las de longitud de onda corta, como los rayos X o los gamma. La luz visible constituye una pequeña porción de este espectro electromagnético. El valor exacto de la velocidad de la luz en el vacío es  $c = 299\,792\,458$  m/s.

### **radiación infrarroja**

Radiación electromagnética situada entre el visible y las microondas, de longitud de onda comprendida entre 700 nm y 1 mm aproximadamente. Los cuerpos emiten el máximo de su energía en una longitud de onda que es inversamente proporcional a su temperatura (ley de Wien), por lo tanto, los cuerpos que emiten en el infrarrojo tienen temperaturas inferiores a los que emiten en el visible y en el ultravioleta. En astronomía son fundamentalmente las estrellas frías de baja masa, las protoestrellas y nubes interestelares y las galaxias más distantes. Los granos de polvo del medio interestelar absorben y esparcen la radiación infrarroja en una proporción mucho menor de lo que lo hacen para la radiación visible y ultravioleta, por lo que observando en el infrarrojo se puede ver a través de nubes de polvo del medio interestelar en direcciones de alta densidad como el centro de la Galaxia y, así, descubrir las estrellas y planetas que se están formando dentro de densas nubes de gas y polvo. Otra faceta interesante del infrarrojo es que en este rango los elementos químicos emiten una gran cantidad de líneas espectrales, por lo que estudiando su espectro infrarrojo se pueden conocer sus abundancias y condiciones de formación de esas líneas. Sin olvidar el desplazamiento al rojo que se produce por la expansión del universo, que es mayor para objetos más distantes y por lo tanto más jóvenes, lo que hace que la radiación óptica e ultravioleta de los objetos más distantes nosotros la veamos ahora en el infrarrojo. Por lo tanto, el infrarrojo es el rango del espectro ideal para estudiar objetos muy jóvenes formados en los primeros momentos del universo.

### **radiación ultravioleta**

Radiación electromagnética situada entre el visible y los rayos X, de longitud de onda comprendida entre 400 y 10 nm aproximadamente, porque la separación entre los diferentes tipos de radiación electromagnética no tiene límites exactos, es simplemente una nomenclatura y el convenio a veces cambia de una disciplina científica a otra. Aunque parezca raro dar los límites de mayor a menor longitud de onda, en astrofísica se acostumbra a decir primero el límite que está más cerca del visible. Dentro del ultravioleta se puede distinguir el ultravioleta cercano, desde 400 a 200 nm, el ultravioleta lejano, desde 91.2 a 200 nm y el ultravioleta extremo, de 91.2 a 10 nm. La atmósfera terrestre, en buenas condiciones, deja pasar el ultravioleta cercano hasta unos 300 nm, más allá solo es posible detectarla con instrumentos a bordo de satélites. El primer satélite científico español, MINISAT-01, llevaba dos espectrógrafos diseñados para detectar radiación ultravioleta lejana y extrema y operó desde 1997 a 2004. Con las observaciones en el ultravioleta se descubrió que muchos tipos de estrellas, entre ellas el Sol, experimentan a lo largo de su vida una pérdida de masa por medio de los llamados vientos estelares, se descubrieron elementos altamente ionizados en el medio interestelar que indicaban una alta temperatura en un medio tradicionalmente considerado como frío, se profundizó en el conocimiento de las novae y estrellas binarias de rayos X, y sobre todo se pudo aumentar el conocimiento de las estrellas calientes que emiten la mayor parte de su energía en este rango del espectro.

## **radiación visible**

Radiación electromagnética con longitudes de onda comprendidas entre 400 nanómetros y 700 nanómetros (entre el ultravioleta y el infrarrojo). Se trata del intervalo del espectro electromagnético en el que el Sol presenta su máxima emisión. Además, la atmósfera terrestre es especialmente transparente en este rango de longitudes de onda. El sistema visual humano, y el de la mayoría de los seres vivos, está optimizado para detectar luz visible. Durante mucho tiempo esta ventana del espectro ha sido la única accesible al estudio de la astronomía, y el análisis de la radiación emitida o reflejada por los cuerpos celestes en este rango ha conducido a multitud de descubrimientos muy significativos. La astronomía actual sigue trabajando sobre todo con la luz visible, y con el paso del tiempo se han ido diseñando detectores e instrumentos cada vez más sensibles para esta radiación. No obstante, desde el siglo XX el ámbito de estudio de la astronomía se ha extendido a las demás regiones del espectro electromagnético, bien por medio de aparatos instalados en el suelo, o de instrumentos embarcados en vehículos espaciales.

## **radio de Schwarzschild**

Distancia desde el centro de un agujero negro a la cual la velocidad necesaria para escapar del mismo es igual a la velocidad de la luz. Para un cuerpo cualquiera, se calcula, en metros, multiplicando su masa en kilos por un número muy pequeño:  $15 \times 10^{-28}$  (un cero y una coma seguidos de veintiséis ceros y un quince). Cualquier cuerpo cuya masa quede comprimida en ese espacio tan pequeño se convertiría automáticamente en agujero negro.

## **radioastronomía**

Disciplina astronómica que estudia y mide la emisión electromagnética en el rango radioeléctrico o de radiofrecuencias de todos los objetos celestes, tanto en su emisión en continuo como en líneas espectrales. Las fuentes astronómicas normalmente estudiadas corresponden al gas y polvo interestelar, aunque también hay algunas estrellas, galaxias y cuásares que emiten en radiofrecuencias.

## **radiofrecuencias**

Región del espectro electromagnético correspondiente a las mayores longitudes de onda (o menores frecuencias). La disciplina astronómica que trabaja en esta región es la radioastronomía, que utiliza para ello radiotelescopios. Las longitudes de onda van desde décimas de milímetro hasta varios metros (frecuencias de cientos de gigahercios a pocos kilohercios).

## **radiotelescopio**

Instrumento utilizado en radioastronomía. Debido a la debilidad de las señales de radio, junto a sus grandes longitudes de onda, los radiotelescopios tienen decenas (o centenares) de metros de diámetro. Son capaces de analizar la emisión en continuo y de líneas espectrales, mediante un complejo sistema de receptores de bajo ruido y analizadores digitales.

## **rayos cósmicos**

Partículas subatómicas extremadamente energéticas que viajan por el universo con velocidades cercanas a la de la luz. Entre esas partículas se cuentan algunos electrones, pero sobre todo se trata de corpúsculos de carga positiva, es decir, núcleos atómicos completos, cuyas abundancias se corresponden a grandes rasgos con la composición química promedio del universo. Entre los rayos cósmicos predominan, pues, los protones o núcleos de hidrógeno. Los rayos cósmicos en estado primario no alcanzan la superficie terrestre, sino que se desintegran al chocar con la atmósfera. Sin embargo, se pueden estudiar de manera directa desde globos, aviones o satélites artificiales. También se pueden analizar a partir de los fenómenos que provoca su desintegración en el aire. Aún no está claro el origen de los rayos cósmicos, aunque las hipótesis más firmes apuntan hacia las partículas emitidas en fenómenos violentos como las explosiones de supernovas o los procesos que suceden en el núcleo galáctico. Los rayos cósmicos de menos energía tienen su origen en el Sol.

## **rayos gamma**

La radiación electromagnética más energética, con longitudes de onda inferiores a 0.1 nanómetros. Este tipo de radiación está involucrado en fenómenos muy energéticos, característicos de los núcleos atómicos o de los fenómenos de aniquilación entre materia y

antimateria. Los rayos gamma producidos en contextos astrofísicos no alcanzan la superficie terrestre porque quedan bloqueados por la atmósfera. Sí cabe estudiar desde el suelo algunos de los efectos inducidos por el choque de los fotones gamma con el aire, pero los mejores resultados se obtienen por medio de satélites artificiales. Los objetos astrofísicos más llamativos productores de este tipo de radiación son las fuentes explosivas de rayos gamma (estallidos de rayos gamma, o GRB), relacionados con explosiones de hipernovas o con la coalescencia de objetos muy compactos.

### **rayos X**

Los rayos X son una radiación electromagnética de longitud de onda entre 0.1 y 10 nanómetros. En el espectro electromagnético se encuentran entre la radiación ultravioleta y los rayos gamma. Son capaces de atravesar objetos opacos. Se encuentran en la región del espectro no visible por el ojo humano y los rayos X de procedencia extraterrestre son bloqueados por la atmósfera, por lo que la astronomía de rayos X se desarrolla desde satélites y cohetes. Ricardo Giaconni obtuvo el premio Nobel de física en 2002 por el descubrimiento de la primera fuente de rayos X astronómica, Scorpius X-1, en la constelación de Escorpio, en la dirección del centro galáctico. También se detectó en las primeras observaciones una radiación de fondo de rayos X, proveniente de todas las direcciones en que se mirase. Se pensó que esa radiación provenía de la Gran Explosión (Big Bang) pero hoy se cree que es debida a la radiación procedente de muchas fuentes discretas vistas en conjunto, en su mayor parte cuásares. Los procesos de emisión de rayos X en el universo son debidos principalmente a: gases ionizados con temperaturas de millones de grados (plasmas), electrones muy energéticos en campos magnéticos intensos y acreción sobre objetos compactos (agujeros negros, estrellas de neutrones, enanas blancas). La materia que cae sobre un agujero negro forma un disco de acreción. Este disco se calienta hasta temperaturas superiores a los cien mil grados, lo que hace que emita luz ultravioleta y rayos X.

### **relatividad especial**

Teoría propuesta por Albert Einstein en 1905 en la que se describen los efectos derivados del hecho de que la velocidad de la luz no sea infinita sobre la descripción del movimiento de un cuerpo o de una onda realizada por diferentes observadores que se muevan unos respecto a otros con velocidad constante (observadores inerciales). Algunas de sus consecuencias poco intuitivas son la contracción de longitudes o la dilatación de tiempos para ciertos observadores, derivadas del hecho de que dos sucesos pueden ser simultáneos para uno y no para otro. Para la definición inequívoca de un suceso se requieren tanto sus coordenadas espaciales como temporales, unificadas en el llamado espacio-tiempo.

### **relatividad general**

Teoría de la gravitación, propuesta por Albert Einstein en 1916, según la cual los fenómenos gravitatorios son consecuencia de la distorsión geométrica del espacio-tiempo (véase **relatividad especial**). Unifica la ley de gravitación universal de Newton con la relatividad especial proponiendo una influencia mutua entre la materia-energía y el espacio que la rodea: la presencia de materia o energía curva el espacio y este determina el camino natural (la órbita) que debe seguir aquella. Hasta ahora ha superado numerosas pruebas tanto en nuestro Sistema Solar (curvatura de rayos de luz, desplazamiento al rojo gravitatorio) como en ambientes de gravedad más intensa, como las estrellas de neutrones o galaxias (lentes gravitatorias).

### **resolución angular**

Capacidad de un instrumento de distinguir entre dos objetos muy próximos (también llamada poder de resolución). Depende normalmente de la máxima extensión del instrumento (diámetro en un telescopio simple, mayor línea de base en un interferómetro), y de la longitud de onda de trabajo. Cuando la luz procedente de un punto muy alejado atraviesa una abertura circular de un tamaño determinado, la imagen resultante no es otro punto sino una mancha gruesa circular rodeada por anillos concéntricos menos brillantes. Este fenómeno se denomina difracción: cuanto mayor es el diámetro del telescopio, menor es el grosor del punto central y menos brillantes los anillos, de modo que se pueden ver más detalles de los objetos en el cielo; tenemos así mayor resolución. La mejora en resolución angular permite normalmente el estudio más detallado de regiones de menor tamaño aparente.

# S

## satélite

Todo cuerpo, artificial o natural, que gira alrededor de otro mayor, atrapado por su atracción gravitatoria. Sus ejemplos más claros son los satélites naturales de los planetas. Todos los planetas tienen uno o más satélites naturales, excepto Mercurio y Venus. A los satélites naturales también se los llama *lunas*. A los cuatro satélites mayores de Júpiter se los llama *satélites galileanos* por haber sido descubiertos por Galileo. Distinguimos estos satélites naturales de los satélites artificiales, que son naves espaciales puestas en órbita alrededor de la Tierra, la Luna, otro planeta o de los puntos de Lagrange. El primer satélite artificial fue el Spútnik, lanzado por la Unión Soviética en 1957. Los satélites artificiales tienen tamaños que oscilan entre los picosatélites, de menos de un kg de peso y los grandes satélites de más de una tonelada. Las órbitas, por su inclinación, pueden ser ecuatoriales, inclinadas o polares, y por su altitud pueden ser de órbita baja (hasta 2000 km), de órbita media (entre 2000 km y la geocéntrica a 35 786 km) y de órbita alta. Los satélites, por su utilización, pueden ser científicos, de observación de la Tierra o de comunicaciones. También merece la pena hacer una distinción entre satélite y sonda espacial. Las sondas son naves espaciales que se envían al espacio profundo y no tienen retorno, un buen ejemplo de ellas fueron las sondas Voyager 1 y 2, que después de pasar por las cercanías de los planetas Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno ya se encuentran fuera del Sistema Solar, con lo que se han convertido en sondas interestelares y continuarán enviando datos a la Tierra hasta que se acabe su fuente de energía eléctrica.

## Saturno

Sexto planeta del Sistema Solar, no mucho menor en tamaño que Júpiter pero mucho menos denso, con una densidad inferior a la del agua. Está compuesto fundamentalmente de hidrógeno, pero hay pruebas de la existencia de un núcleo rocoso en su interior. De entre el complejo sistema de cuerpos que orbitan en torno al planeta Saturno, destacan los anillos. La inclinación del eje de Saturno es parecida al de nuestro propio planeta y por ello los anillos pueden contemplarse en diferentes configuraciones a lo largo de los años, hecho este que desconcertó a los primeros observadores del cielo con telescopio, como Galileo. La misión Cassini de la NASA investigó tanto la atmósfera como los satélites de este planeta entre los años 2004 y 2017. A principios de 2005, la sonda Huygens de la ESA, que viajaba a bordo de la Cassini, se posó en la superficie del satélite Titán y desveló un fascinante mundo y un posible ciclo «hidrológico» basado en el metano.

## secuencia principal

Rasgo más destacado presente en el diagrama de Hertzsprung-Russel.

Ejnar Hertzsprung y Henry N. Russell estudiaron las luminosidades y temperaturas de numerosas estrellas. Cuando se representan en un diagrama las luminosidades y las temperaturas de las estrellas resulta el diagrama de Hertzsprung-Russell (diagrama HR). Sobre este diagrama es posible diferenciar estrellas en diferentes estadios evolutivos. Se denomina secuencia principal a la región del diagrama HR en la que las estrellas pasan la mayor parte de su existencia (que técnicamente corresponde a un estadio en el que en la estrella consume hidrógeno). Dado que las estrellas más masivas evolucionan más rápido, su paso por esta región del diagrama es más breve (unos pocos millones de años). Por el contrario, las estrellas más ligeras permanecen más tiempo en la secuencia principal (varios miles de millones de años). El Sol lleva alrededor de 4500 millones de años en la secuencia principal y aún pasará en ella otro tanto, antes de convertirse en una estrella gigante roja.

## sistema planetario

Conjunto formado por una estrella (o un sistema estelar binario) y todos los planetas y cuerpos menores que orbitan a su alrededor. Además de nuestro propio sistema planetario, llamado Sistema Solar, recientemente se han descubierto otros miles de planetas alrededor de otras estrellas (exoplanetas), gracias a varias técnicas de observación entre las que destacan la espectroscopia de alta resolución y la fotometría de alta precisión. Algunos de ellos se encuentran en verdaderos sistemas planetarios, que contienen una

estrella central y dos o más planetas. Con anterioridad a la identificación del primer exoplaneta por métodos espectroscópicos en 1995, se habían descubierto discos circunestelares alrededor de estrellas, tanto de acrecimiento (restos de la formación de la propia estrella) como aquellos formados por el material usado para generar los planetas (denominados discos de residuos, o de *debris*). Lo más sorprendente es que incluso se han detectado sistemas planetarios que también incluyen discos circunestelares y que, por tanto, se encontrarían en una etapa evolutiva temprana, en la cual los exoplanetas todavía estarían en proceso de formación o habrían terminado recientemente de formarse.

### **Sistema Solar**

Conjunto que forman el Sol y los cuerpos que orbitan a su alrededor. Los cuerpos que giran alrededor del Sol son los planetas y sus satélites, los planetas enanos, los asteroides y los cometas y otros cuerpos menores. La mayoría de objetos del Sistema Solar se encuentran en un plano conocido como plano de la eclíptica. El Sistema Solar se extiende hasta un año-luz de su centro, el Sol. Si bien son miles de millones los cuerpos que componen el Sistema Solar, más del 99 % de la masa del mismo está concentrada en el Sol. Los planetas, la mayoría de los satélites y todos los asteroides orbitan alrededor del Sol en la misma dirección, a lo largo de órbitas elípticas en sentido anti horario si se observa desde encima del polo norte del Sol.

### **Sociedad Española de Astronomía**

Sociedad profesional de ámbito nacional cuya finalidad, según figura en sus estatutos, es contribuir a promocionar el desarrollo en España de la astronomía, en su sentido más amplio y, en particular, proporcionar un foro independiente para la discusión de asuntos de interés común, así como facilitar medios para aquellos asuntos en los que parezca adecuada una acción conjunta o mantener relaciones institucionales con otras sociedades cuya causa y objetivos sean similares. Sus miembros son astrónomos profesionales o estudiantes de doctorado, así como otras personas o entidades interesadas en la causa y objetivos de la Sociedad que podrían ser contemplados bajo la figura de miembros asociados.

### **Sol**

Es una de los cientos de miles de millones de estrellas de la galaxia de la Vía Láctea, situada a unos 27 000 años-luz de su centro. Se originó hace 4650 millones de años a partir de la nube de materia interestelar de la que nació todo el Sistema Solar. Se encuentra en la mitad de su vida estable, dentro de un tiempo similar se convertirá en gigante roja y, posteriormente, en nebulosa planetaria, con una enana blanca en su interior. La Tierra orbita a su alrededor a una distancia de 150 millones de km. Es la única estrella cuya superficie podemos estudiar en detalle, por estar a esta «pequeña» distancia. El Sol es una estrella ordinaria por su tamaño, masa, temperatura... y su potencia luminosa se ha mantenido lo bastante constante durante los últimos 3500 millones de años como para posibilitar la aparición de vida en la Tierra. Libera energía mediante reacciones de fusión nuclear que transforman hidrógeno en helio en su núcleo, a 15 millones de grados. El Sol es una estrella activa (magnética) y el número e intensidad de los fenómenos magnéticos (como las manchas solares, intensas concentraciones magnéticas observadas en su superficie visible o fotosfera) varía cada 11 años aproximadamente, con el llamado ciclo solar. El Sol influye notablemente en la Tierra y es, realmente, la estrella de nuestra vida.

### **solsticios**

Aquellos instantes del año en que el Sol alcanza el valor extremo de su declinación (distancia aparente al ecuador celeste), aproximadamente +23.45° en el llamado solsticio de Cáncer y -23.45° en el solsticio de Capricornio. En los solsticios el Sol se encuentra en el cenit al mediodía sobre los paralelos terrestres denominados *trópicos*. En las proximidades de los solsticios parece que el Sol apenas se moviera respecto a las estrellas, de ahí su nombre en latín *solstitium* que quiere decir «Sol quieto». El paso del Sol por estas posiciones marca, cuando se encuentra en el de Cáncer, el comienzo del verano en latitudes boreales (hemisferio norte) y el comienzo del invierno en latitudes australes (hemisferio sur) y lo contrario cuando se encuentra en el de capricornio

### **supercúmulo de galaxias**

Gran estructura formada por la interacción gravitatoria de cúmulos y grupos de galaxias, con tamaños entre los 100 y los 500 mega pársecs (300 y 1500 millones de años-luz). Los súper cúmulos de galaxias constituyen las mayores estructuras jerárquicas en el cosmos. Por encima de estas entidades, el universo adquiere una textura homogénea a gran escala.

### **supergigante**

Las supergigantes son estrellas muy luminosas y enormemente grandes. En su máxima extensión, las supergigantes pueden llegar a alcanzar más de mil veces el radio solar, lo que equivale a extenderse más allá de la órbita de Júpiter. Hay principalmente dos clases de estrellas supergigantes: azules y rojas, como en el caso de las gigantes. En tamaño, las supergigantes rojas superan con mucho a las supergigantes azules, pero estas, al ser mucho más calientes, llegan a ser igual de brillantes con tamaño menores (de hecho, una supergigante azul puede tener un radio menor que una gigante roja). Las supergigantes son resultado de la evolución de las estrellas de alta masa. Cuando evolucione algo más y se le acabe el hidrógeno en el núcleo, la estrella se enfriará y se expandirá, igual que el Sol, pero ahora a tamaños increíblemente grandes: será una supergigante roja. Un ejemplo bien conocido es Betelgeuse, en la constelación de Orión. Algunas supergigantes son estrellas muy variables, con variaciones bruscas y no periódicas. La fase de supergigante es muy rara, pues son fases rápidas de estrellas poco frecuentes. Pero su estudio es muy importante, porque estas estrellas son los antecesores directos de las supernovas, fase a la que llegará la estrella cuando agote todo el combustible nuclear de que dispone.

### **supernova**

Explosión estelar de carácter cataclísmico, extremadamente energética y que hace desaparecer la estrella progenitora. Existen dos tipos principales de supernovas: las gravitatorias y las termonucleares. Las supernovas gravitatorias (técnicamente, supernovas de tipos II, Ib, Ic) son explosiones que se producen al final de la vida de las estrellas muy masivas. Las estrellas con más de ocho masas solares culminan los ciclos de reacciones nucleares con la producción de elementos del grupo del hierro. La fusión de átomos más allá de este grupo consume energía, de modo que la estrella entra en crisis, la presión interna deja de sostener su estructura y se produce un colapso violento. Ese colapso culmina con un rebote de las capas externas en una explosión colosal bajo condiciones físicas tan extremas que se generan todos los elementos de la tabla periódica. Las supernovas termonucleares tienen lugar en sistemas estelares binarios en los que una de las componentes es una enana blanca. La enana blanca puede robar materia de las capas externas de su compañera. Si la acumulación de materia sobre la enana blanca se produce en las condiciones adecuadas, puede desembocar en la ignición termonuclear de toda la estrella. Las supernovas dejan tras de sí objetos compactos en forma de estrellas de neutrones o incluso agujeros negros, y son las responsables del enriquecimiento del medio interestelar en átomos pesados, entre ellos muchos de los necesarios para el sostenimiento de la vida.

## **T**

### **telescopio**

Instrumento óptico capaz de aumentar la luminosidad y tamaño aparentes de los objetos que se observan. Las raíces de su nombre, *tele* («lejos») y *scopio* («observar»), lo definen perfectamente. Uno de los primeros científicos en usar un telescopio de una cierta calidad óptica con finalidades astronómicas fue Galileo Galilei alrededor de 1609 y, aunque se le ha considerado el inventor de este instrumento, se sabe que en las décadas anteriores se fabricaban y usaban instrumentos similares al de Galileo en varios países de Europa, entre ellos España. Los hay de dos tipos, refractores y reflectores, según la forma en que recogen la luz. Hoy en día, los grandes telescopios se construyen usando espejos con superficies cóncavas que recogen la luz, o sea reflectores. Cuanto mayor es el telescopio más luz recoge, lo que hace que se puedan observar objetos más débiles. Actualmente, el telescopio óptico totalmente orientable más grande del mundo es el Gran Telescopio Canarias, situado en la isla de La Palma, cuyo espejo tiene un diámetro de 10.4 metros. Su tamaño le permitiría distinguir los faros de un coche a 20.000 kilómetros.

### **telescopio reflector**

Telescopio en el que la superficie colectora de luz es un espejo primario cóncavo que la redirige a través de otros espejos de menor diámetro hasta el plano focal. Con espejos se puede aumentar mucho el diámetro del telescopio, con un límite de unos 8 metros para espejos monolíticos, o sea de una sola pieza. La solución adoptada en telescopios mayores consiste en combinar un conjunto de segmentos que simulan una superficie de gran tamaño. Este es el caso del Gran Telescopio Canarias (10.4 m de abertura). La mayoría de estos telescopios consta de dos espejos: el primario y el secundario que, según su forma, puede simplemente desviar la luz (como en el caso original de Newton de 1671, en que es un espejo plano) o también actuar en conjunción con el primario para incrementar la distancia focal que recorre la luz en un diseño compacto. En este último caso, los diseños más populares son el gregoriano y el de Cassegrain.

### **telescopio refractor**

Telescopio en el que la superficie colectora de luz es la cara frontal de una lente, y que no contiene elementos reflectores (espejos) en ninguna otra parte de su diseño. Históricamente fue el primer tipo de telescopio. Usa una lente colectora que focaliza la luz en un punto y luego forma la imagen final en la retina del observador mediante un ocular. Continúa siendo la base de muchos de los telescopios de pequeño diámetro usados por los astrónomos aficionados. Es barato y no requiere mantenimiento, excepto la limpieza de las lentes, pero su diámetro máximo está limitado por razones tecnológicas: no es posible elaborar vidrios de calidad homogénea mayores de un metro. Además, las lentes grandes son pesadas y difíciles de sujetar por los bordes y presentan aberración cromática: la luz se descompone en sus colores al atravesar la lente y forma imágenes de diferente color en distintos puntos del plano focal. La corrección de esta aberración es compleja e incluye la construcción de una lente formada por capas de varios tipos de vidrio.

### **Tierra**

Tercer planeta del Sistema Solar por distancia a nuestra estrella y hogar de la especie humana. La Tierra traza una órbita levemente elíptica y gira sobre su propio eje, respecto del Sol, una vez cada 24 horas. La atmósfera de la Tierra está compuesta fundamentalmente por nitrógeno y oxígeno, procedente este último, en su inmensa mayoría, de la actividad biológica. El planeta aún es activo geológicamente y presenta movimientos en la corteza descritos mediante la teoría de la tectónica de placas. La temperatura en la superficie de nuestro planeta se encuentra muy cerca del llamado punto triple del agua, lo que permite encontrar este elemento en sus tres estados fundamentales (sólido, líquido y gaseoso). Hasta donde sabemos en la actualidad, este pequeño planeta rocoso es el único lugar donde existe o se ha desarrollado la vida.

### **tipo espectral**

Cada una de las categorías del sistema de clasificación de las estrellas según las características presentes en sus espectros. Originalmente, los tipos espectrales fueron definidos por letras del alfabeto. A, B, C... Conforme avanzaba la clasificación, algunos tipos se refundieron, y con ellos sus letras. Posteriormente, los diferentes tipos espectrales pudieron asociarse a la temperatura de las estrellas (lo que constituye un descubrimiento fundamental), y fueron ordenados en temperaturas decrecientes. De este modo quedó la moderna serie de tipos espectrales: O, B, A, F, G, K, M. Esta serie ha sido recientemente extendida hacia temperaturas menores con dos nuevos tipos espectrales, el L y el T, para objetos subestelares. Los tipos O tienen temperaturas superficiales de al menos 30 000 kelvin. Los tipos fríos llegan a temperaturas por debajo de 2000 K. Muy pronto quedó claro que los tipos espectrales no eran suficientemente precisos para clasificar las estrellas, y se introdujeron los subtipos espectrales. Cada tipo espectral quedó dividido en subtipos, que recibieron números del 0 (el más caliente) al 9 (el más frío), en ocasiones con decimales. Así, por ejemplo, tendremos tipos B3, A7 o G2 (el tipo espectral del Sol). No obstante, la secuencia no es completa. Por ejemplo, comienza en el tipo O3 (no en el O0), aunque recientemente se habla del tipo O2. Por debajo, la situación es similar. Hay que decir que lo que se conoce como «tipo espectral» designa a menudo una combinación de dos clasificaciones: el tipo espectral propiamente dicho, y la clase de luminosidad.

### **Titius-Bode (ley de)**

Regla matemática simple que permite deducir, a partir del número de orden de un planeta en el Sistema Solar, su distancia al Sol.

Johann Bode la publicó de esta forma: distancia al Sol =  $(n+4)/10$  en unidades astronómicas, donde  $n = 0, 3, 6, 12, 24, 48, \dots$ . Fue Johann D. Titius quien la descubrió en 1766, pero no tuvo eco científico hasta que Bode la dio a conocer en 1772. Se trata de una fórmula empírica (a la cual no se le ha encontrado ninguna explicación física clara, a pesar del esfuerzo invertido) que se dedujo cuando solo se conocían los planetas Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter y Saturno. La ley se hizo famosa al descubrirse Urano y al buscar y encontrar Ceres y el cinturón de asteroides a las distancias marcadas por la Ley de Titius-Bode. Posteriormente se descubrieron Neptuno, que no cumple la ley y Plutón que tampoco la cumple, pero se aproxima bastante aunque este último no se considere hoy un planeta propiamente dicho. Es una ley que también es válida (con otros parámetros numéricos) para los satélites de Júpiter y de Urano y también para los de Saturno, pero con algunos huecos. Actualmente se está tratando de aplicar su generalización a los planetas extrasolares.

## U

### **unidad astronómica**

La unidad astronómica de distancia (con símbolo au) es una unidad de longitud que se utiliza en astronomía para las dimensiones típicas del Sistema Solar. La Unión Astronómica Internacional, define 1 au como una longitud igual a exactamente 149 597 870 700 metros. Como puede verse, 1 au es aproximadamente 150 millones de kilómetros, algo menos que la distancia Sol-Tierra. El origen de esta unidad se remonta a los siglos XVI-XVII, cuando no se conocían con precisión las distancias desde el Sol a los diversos objetos del Sistema Solar y se medían tomando como patrón la distancia media Sol-Tierra, que pasó a denominarse unidad astronómica. Como ejemplos, la distancia media Sol-Mercurio es de 0.4 au, mientras que la de Sol-Neptuno (el último de los planetas) es de 30 au.

### **Unión Astronómica Internacional**

La Unión Astronómica Internacional (UAI o también IAU por sus siglas en inglés) fue fundada en 1919 y tiene por misión promover y salvaguardar la astronomía en todos sus aspectos a través de la cooperación internacional. Sus miembros son astrónomos profesionales, con el grado de doctor, así como delegaciones de países. Actualmente los miembros individuales son más de 10 000 y los miembros nacionales son más de 80. Sus actividades científicas y educativas están organizadas en divisiones, comisiones especializadas y grupos de trabajo que cubren todos los campos de la astronomía. Su mayor actividad es la organización de reuniones científicas. Cada año la UAI patrocina nueve simposios internacionales y cada tres años organiza una asamblea general de dos semanas de duración que incluye tres simposios especializados y unas 15-20 discusiones conjuntas sobre temas astronómicos de actualidad. Entre sus tareas más relevantes está la definición de constantes fundamentales astronómicas, y de reglas de nomenclatura astronómica. Es la autoridad reconocida internacionalmente para asignar nombres a los cuerpos celestes y a los accidentes del relieve descubiertos en ellos.

### **universo**

El universo se define como todo lo que existe físicamente: la totalidad del espacio y del tiempo, de todas las formas de la materia, la energía, y las leyes y constantes físicas que las gobiernan. Sin embargo, el término *universo* puede ser utilizado en sentidos contextuales ligeramente diferentes, para referirse a conceptos como el cosmos, el mundo o la naturaleza. Observaciones astronómicas de los últimos años indican que el universo tiene una edad aproximada de 13 730 millones de años y por lo menos 93 mil millones de años-luz de extensión. Se cree que el origen del universo fue una Gran Explosión (en inglés Big Bang). En aquel instante toda la materia y la energía del universo observable estaban concentradas en un estado de densidad infinita. Después de la gran explosión, el universo comenzó a expandirse para llegar a su condición actual, y continúa haciéndolo.

## **Urano**

El séptimo planeta del Sistema Solar. Tarda más de 80 años terrestres en dar una vuelta completa alrededor del Sol con su eje de rotación tan inclinado que «rueda» sobre su órbita. Junto con Neptuno forma los llamados gigantes helados, compuestos no solo por hidrógeno y helio sino también con una apreciable cantidad de hielo y rocas. Urano fue el primer planeta desconocido por las civilizaciones antiguas que fue descubierto a finales del siglo XVIII. Tanto la posición del planeta en su órbita como su campo magnético presentan algunas peculiaridades, lo que ha llevado a especulaciones sobre posibles colisiones con otros cuerpos en el pasado. Al igual que Júpiter y Saturno, posee bastantes satélites (casi 30 conocidos hasta ahora) y anillos. Solo la sonda Voyager 2 a mediados de los años 80 se ha acercado a este planeta. Las observaciones más recientes con el telescopio espacial Hubble han revelado que la atmósfera es rica en metano.

# V

## **velocidad radial**

Velocidad con la que un objeto celeste, normalmente una estrella, se aleja o acerca a la Tierra. Análogamente, se denomina velocidad radial heliocéntrica a la velocidad con que un objeto celeste se aleja o acerca al Sol. La velocidad radial se mide a lo largo de la línea visual del observador, es decir, según la línea imaginaria que une al observador (o el Sol en el caso de la velocidad radial heliocéntrica) con el objeto celeste. En contraposición, la velocidad tangencial es la velocidad con la que dicho objeto se mueve en dirección perpendicular a la línea visual.

## **ventana atmosférica**

Cada uno de los intervalos de frecuencia en los que una radiación procedente del exterior de la Tierra puede atravesar la atmósfera sin ser absorbida y, así, ser detectada por un telescopio en el suelo. A nivel del mar, las únicas ondas electromagnéticas que nos llegan del cosmos son ondas de radio y luz visible (más una pequeña fracción de radiación infrarroja y ultravioleta) que corresponden a las llamadas ventanas de radio y óptica. A mayor altitud se gana en intensidad, pero muy poco en nuevas frecuencias. Por ello la mayoría de telescopios infrarrojos, ultravioletas, de rayos X o de rayos gamma deben colocarse a bordo de satélites.

## **Venus**

Segundo planeta del Sistema Solar por distancia al Sol y el más similar en tamaño y composición a la Tierra. Se encuentra a una distancia promedio de 0.7 au de nuestra estrella, en una órbita casi circular. Venus rota sobre su eje en sentido contrario al resto de planetas y tan lentamente que el día allí es más largo que el año local. La superficie es relativamente joven, lo que apunta a fenómenos de renovación geológica, sobre todo vulcanismo. La atmósfera de Venus está compuesta básicamente por dióxido de carbono, con densas nubes de ácido sulfúrico que cubren todo el planeta. Este planeta tan parecido al nuestro es un ejemplo de que se denomina «efecto invernadero desbocado», que produce temperaturas en superficie de casi 500 °C. Este fue el primer planeta donde se posó un vehículo espacial (Venera 7, 1970), y otras sondas soviéticas Venera posteriores fueron capaces de enviarnos imágenes de su superficie a finales de los años 70 y primeros 80.

## **Vía Láctea**

Desde la antigüedad se denomina Vía Láctea a una ancha zona de luz difusa que atraviesa la esfera celeste pasando por varias constelaciones y que se observa mejor durante las noches de verano y de invierno. Actualmente se sabe que dicha banda difusa está compuesta, en realidad, por miles de millones de estrellas indiscernibles por el ojo humano sin la ayuda de un telescopio o unos prismáticos. La Vía Láctea se corresponde con la visión desde su interior de lo que se ha dado en denominar disco galáctico (la región de nuestra Galaxia en la que se encuentran la mayoría de sus estrellas). Por ello en ocasiones se usa el nombre de Vía Láctea para referirse a nuestra Galaxia en su conjunto, distinguiéndola de las demás galaxias.

## viento solar y viento estelar

Las estrellas no son sistemas cerrados. De ellas escapa luz, pero también materia. Los átomos e iones de la superficie de la estrella escapan hacia el espacio exterior, bien siguiendo las líneas del campo magnético, como en el Sol y estrellas similares, bien impulsados por la radiación de la estrella, como en el caso de estrellas muy calientes. Esta materia que escapa de la estrella, conocida como viento estelar (o viento solar si se refiere al Sol) es pequeña en el caso del Sol, aunque muy importante para la exploración espacial. Pero en otros casos puede llegar a ser una fracción importante de la masa de una estrella. En casos extremos, la pérdida de masa puede acercarse a una milésima de masa solar en un año. Algunas estrellas inyectan de este modo grandes cantidades de energía mecánica en su entorno. La energía liberada en forma de vientos estelares debe tenerse en cuenta como una parte integral de la luminosidad de las estrellas.

**W , X , Y**

**Z**

## zodiaco

El zodiaco, o zodíaco, es una franja de la esfera celeste que se extiende, aproximadamente, unos 9 grados a ambos lados de la eclíptica y por la que se desplazan, anualmente, el Sol, la Luna y los planetas en su movimiento con respecto al fondo de estrellas. Como su nombre indica (del griego clásico *zodiakos kyklos*, *ζωδιακός κύκλος*, «círculo de animales»), casi todas las constelaciones que la forman tienen nombre de animales. Originariamente constituía un calendario de 12 meses creado por los babilonios alrededor del 2000 a.C. Estos dividieron el zodiaco en 12 partes iguales, bautizadas según las constelaciones que entonces contenían y que dan nombre a los conocidos signos zodiacales (Aries, Tauro etc...). Desde entonces la precesión de los equinoccios ha modificado esta franja de forma que ya no corresponden las mismas constelaciones a las mismas épocas del año (en primavera el Sol no pasa por Aries, sino por Piscis). Actualmente son más de 12 las constelaciones contenidas total o parcialmente en el zodiaco, ya que en 1930 la Unión Astronómica Internacional (IAU) estableció los límites de las constelaciones con zonas rectangulares, siguiendo la red de la declinación y la ascensión recta, alargando la constelación de Ofiuco hasta cortar la eclíptica y haciendo que partes de otras (como la Ballena) también invadan la franja zodiacal.

## zona de habitabilidad

Zona del espacio alrededor de una estrella en la que los planetas o satélites que se encuentren en ella son susceptibles de albergar vida. Dos condiciones indispensables son la presencia de agua líquida y una fuente de energía, aunque esto es naturalmente una extrapolación de las condiciones de la vida en la Tierra y, si se descubre la existencia de vida en ausencia de agua, habría que cambiar esta definición. El descubrimiento del primer planeta extrasolar alrededor de una estrella normal en 1995 por Michel Mayor y Didier Queloz, así como el gran número y variedad de planetas descubiertos a continuación en pocos años, hizo que el concepto de zona de habitabilidad dejase de ser una elucubración filosófica y pasase a ser una posibilidad científica. No todas las estrellas pueden tener una zona de habitabilidad, las condiciones para ello son: que han de existir como astros radiantes al menos unos cuantos miles de millones de años para dar tiempo a la aparición y evolución de la vida, han de emitir radiación ultravioleta en cantidad crítica y suficiente para la formación del ozono y, lo más importante para nuestro tipo de vida, han de permitir la existencia de agua líquida en la superficie de los planetas. Con estas características, las estrellas posibles van desde los primeros tipos espectrales F, pasando por todas las estrellas G, hasta tipos K medios. El Sol es una estrella G2. Además no deberían ser demasiado variables en luminosidad y deben tener alta metalicidad para poder tener planetas rocosos, porque suponemos que los planetas habitables han de ser de tipo terrestre. El tamaño del planeta ha de ser suficientemente grande como para que pueda retener una atmósfera considerable, mantener el calor interno y disponer de un campo magnético que le proteja del viento estelar. Otra condición que parece necesaria para la habitabilidad es tener pequeña excentricidad orbital, es decir que la distancia a su estrella no varíe mucho. La órbita de la Tierra es casi circular. La velocidad

orbital ha de combinarse con la rotación de tal modo que el ciclo día-noche no sea muy largo, para que las diferencias de temperatura no sean muy grandes entre el día y la noche.