

INTRODUCCIÓN

El Universo, una realidad en continua evolución.

Nuestra visión del Universo ha cambiado de aspecto durante el último cuarto de siglo. Hasta la década de los cincuenta, todo lo que sabíamos del espacio que nos rodea nos llegaba a través de la información contenida en la luz de los astros y, por lo tanto, sólo de las observaciones con telescopio. Asomándose a lo que los astrónomos llaman la *ventana óptica* de nuestra atmósfera, ese corredor a través del cual pasan las radiaciones visibles del espectro electromagnético, ya era posible observar un panorama grandioso y desconcertante. Un inmenso vacío en el cual, como islas en un océano sin límites, flotaban miríadas de galaxias conteniendo cada una miles de millones de estrellas. Nuestro Sol no es más que una de las innumerables estrellas situadas en la periferia de una de las muchas galaxias; y el cortejo de planetas que giran a su alrededor, granitos de polvo en el conjunto del Universo. Después de la primera revolución astronómica llevada a cabo por COPÉRNICO, KEPLER, GALILEO y NEWTON, surge lo que algunos científicos señalan como la segunda revolución astronómica, con una nueva serie de inventos y descubrimientos, y que aún está en plena evolución. Con ella, el cuadro se ha modificado de manera profunda, definiendo contornos y detalles que pueden tildarse de apasionantes. Hoy parece haberse establecido el momento en que nació el Universo, una gigantesca explosión, pintorescamente denominada *Big Bang*, cuyo eco aún vibra en los espacios bajo la forma de una *radiación fósil* a 3 K. A partir de aquél lejano acontecimiento, ocurrido por lo menos hace unos 15 mil millones de años, el Universo se expande sin cesar en todas direcciones extendiendo sus tentáculos, constituidos por masas de estrellas y gases. En esta burbuja de materia en expansión, el hombre ha podido determinar la presencia de extraños objetos. Galaxias que escapan rozando la velocidad-límite de la luz; estrellas de neutrones mucho más pequeñas que la Tierra y que laten con la regularidad de un radiofaro, dejándose oír de un extremo a otro del Universo; objetos que han sufrido un colapso y que son tan compactos como para atraer con su fuerza de gravedad materia y luz, haciéndose invisibles y mereciendo la acertada denominación de "Agujeros Negros". Una astronomía nueva para un Universo nuevo. La "nueva astronomía" ha hecho posible lograr un nuevo panorama del Universo, apenas esbozado en muchos aspectos, pero tan rico en fascinantes temas. Junto a la *ventana óptica*, los astrónomos han podido abrir otra serie de perspectivas de observación que permiten recoger informaciones invisibles al ojo humano, ya que se desplazan en longitudes de onda diferentes a las típicas de la luz. De este modo nació la radioastronomía que se sirve de los radiotelescopios, enormes pabellones auriculares electrónicos en forma de paraboloide, cuya misión es detectar las emisiones de radio que emiten las estrellas. Más allá de la atmósfera terrestre, que constituye una pantalla impenetrable para la mayor parte de las longitudes de onda fuera del espectro visible, los instrumentos colocados en misiles, satélites y globos-sonda, captan las emisiones celestes en el dominio de los infrarrojos, los ultravioletas, los rayos X y los rayos γ . Procediendo de esta manera, no sólo se ha podido estudiar cada objeto del cielo a través de la luz que vemos, sino también en todas las otras longitudes de onda que emite. Algunos objetos, completamente desconocidos porque carecen de emisiones en el espectro visible, se han revelado por primera vez. En una escala de magnitudes mucho más pequeña, pero sumamente significativa para nosotros-como es la de nuestro sistema solar-, los cambios no han sido menos drásticos y perturbadores. En un cuarto de siglo el hombre ha salido del ámbito terrestre y ha explorado la Luna, el cuerpo celeste más próximo; después se ha lanzado hacia los planetas interiores y finalmente ha puesto sus ojos en los grandes gigantes exteriores. También en este caso la cantidad de nuevos descubrimientos ha sido tan grande como para impulsar a los estudiosos a rediseñar los mapas de los planetas. Hoy se habla de "nuevo sistema solar" para subrayar no sólo las novedades inherentes a la cartografía, el aspecto físico, la composición química de los planetas, satélites y cuerpos menores, sino incluso las nuevas ideas sobre la génesis y la evolución de esta parte del Universo en la cual nos encontramos. No es una empresa fácil hacer una síntesis de todos estos conocimientos que van de los extremos confines del Universo a los detalles de nuestro sistema solar, teniendo como punto de referencia las ideas, los hombres, y los maravillosos instrumentos que desempeñan el papel de protagonistas de esta gran epopeya científica. A esto debe agregarse el enorme y secular problema del origen de la vida: ¿se trata de un fenómeno único que ha tenido como escenario el ámbito primordial de la Tierra, o bien de un complejo ciclo cósmico que afecta a toda la materia del Universo como induciría a pensar lo el descubrimiento de moléculas orgánicas en los espacios interestelares? La complejidad de todos estos aspectos nos ha llevado a presentar esta obra de una manera accesible a todos los no especialistas, con un patrimonio de conocimientos y actualizaciones científicas indispensables para quien pretende vivir informado durante estos tiempos, en los cuales nos estamos acercando velozmente a la meta del año dos mil.

Guía para consultar la obra:

Cada voz contiene en caracteres cursivos los nombres de aquellas otras voces que pueden consultarse para completar los conocimientos. Para los símbolos y las abreviaciones que aparecen en las distintas voces, a continuación presentamos algunas explicaciones útiles. Distancias astronómicas: Son tan grandes con respecto a las que estamos habituados en la Tierra, que es preciso recurrir a múltiplos de nuestro familiar kilómetro. 1 Unidad Astronómica (UA) = $1,495 \cdot 10^8$ km; 1 año luz (al) = $9,46 \cdot 10^{12}$ km; 1 parsec (pc) = $3,26$ al = $3,087 \cdot 10^{13}$ km; 1 kiloparsec (kpc) = 10^3 pc; 1 Megaparsec (Mpc) = 10^6 pc. Para algunas magnitudes físicas, como por ejemplo las dimensiones de los granos de polvo interestelar o la longitud de onda de la luz, se utilizan los siguientes submúltiplos de metro: 1 micrómetro (μm) = 10^{-6} m; 1 nanómetro (nm) = 10^{-9} m; 1 Ångstrom (Å) = 10^{-10} m. Magnitudes estelares: La luminosidad de los objetos celestes se mide en magnitudes o dimensiones estelares. Por convención, se dan números negativos crecientes a los objetos siempre más luminosos, números positivos crecientes a objetos más débiles. A continuación se dan algunos ejemplos: Sol, -27^{m} ; Júpiter, -3^{m} ; Dubhe, 2^{m} ; Luna, -15^{m} ; Vega, 0^{m} ; Urano, 5^{m} ; Venus, -5^{m} ; Aldebarán, 1^{m} ; Plutón 15^{m} . El exponente m significa, obviamente, magnitud, por ejemplo la estrella Mizar que tiene una magnitud de dos y medio, se suele escribir $2,5^{\text{m}}$. El ojo no es capaz de percibir magnitudes inferiores a 6^{m} . Dimensiones aparentes Las dimensiones aparentes de los objetos celestes se miden en grados. La Luna llena, por ejemplo, tiene una dimensión aparente de medio grado ($0,5$). $1^\circ = 60' = 3600''$.

A

Aberración de la luz. Es el fenómeno por el cual la posición de las estrellas aparece desplazada hasta $20''{,}5$ con respecto a la real, como consecuencia del movimiento orbital de la Tierra (29,8 km/s). De manera intuitiva se puede explicar observando cómo los ocupantes de un coche que se desplaza bajo una lluvia perfectamente vertical al suelo, tienen la sensación de que ésta cae de manera inclinada hacia el vehículo en el que viajan. Del mismo modo, los rayos luminosos de una estrella observada desde la Tierra aparecen desviados y la fuente, por consiguiente, desplazada. El efecto fue descubierto por el astrónomo James BRADLEY en 1758 y constituyó la primera prueba de observación del movimiento de la Tierra alrededor del Sol.

Aberración óptica. Con este término genérico se abarca una serie de defectos que afectan a los instrumentos ópticos con lentes y con espejos. En la aberración cromática los diversos colores (longitudes de onda) que componen la luz, al atravesar una lente son desviados de diferente manera y dan lugar a la formación de una imagen contorneada por los colores del arco iris. En una lente biconvexa, por ejemplo, los rayos violetas convergen hacia el foco antes que los rojos. El defecto se elimina recurriendo a un sistema acromático compuesto, en su forma más simple, por dos lentes, una denominada "flint" y la otra "crown", cuyo Índice de refracción es distinto. Los espejos carecen de aberración cromática. La aberración esférica, en cambio, afecta tanto a las lentes como a los espejos y se debe a que las partes periféricas de una lente o de un espejo, hacen converger los rayos luminosos hacia un foco ligeramente desplazado con respecto al de las partes centrales, dando lugar a una imagen desenfocada. El astigmatismo es un defecto de algunos sistemas ópticos consistente en la incapacidad de conducir hacia un foco común los rayos luminosos procedentes de diversos planos, por ejemplo el plano horizontal y el vertical. Si se observa una estrella con un anteojo con defecto astigmático, en lugar de una imagen puntiforme se observará una imagen elipsoidal. Para corregir el astigmatismo se recurre por lo general al empleo de lentes tóricas (de toro de revolución), que presentan una cara esférica y una cara tórica. Sin embargo, en cierto momento se empleaban lentes cilíndricas y esférico-cilíndricas.

Absorción atmosférica. La absorción atmosférica es la disminución de la intensidad luminosa de una fuente celeste, causada por los gases que componen la atmósfera. Crece rápidamente en las capas más bajas de la atmósfera, cuya densidad es mucho más elevada que la de los estratos superiores. La absorción que experimenta la luz de un astro observado cerca del horizonte, por tanto, es mayor que la de un astro que se encuentra en el cenit, debido a que los rayos luminosos del primero, deben atravesar una masa de aire más grande. Los diversos colores que componen la luz blanca en condiciones de cielo sereno experimentan una absorción variable según su longitud de onda: los rayos violetas son absorbidos más que los rojos y esto por un lado provoca "el enrojecimiento" de los astros (sobre todo en la proximidad del horizonte), y por otro, la coloración azul o violeta del cielo que se puede observar en un día claro y despejado. En cambio, cuando la atmósfera está cargada de

partículas de vapor de agua o de otra naturaleza, no se tiene una absorción selectiva y el cielo aparece blanquecino.

Absorción interestelar. La absorción interestelar es el fenómeno por el cual una estrella aparece menos luminosa de cuanto debería, debido a su distancia; esto está causado por la presencia, en el espacio interestelar, de nubes formadas por gases y polvos. Considerando que estas sustancias estén uniformemente distribuidas en el espacio, en un trayecto de unos 3.000 AL, la luminosidad de una estrella debería reducirse en $0{,}5^m$. La distribución de la materia interestelar, sin embargo, no es uniforme, y, por tanto, el coeficiente de absorción varía en cada caso. La absorción interestelar también presenta el fenómeno de la selectividad: es experimentada en mayor medida por la luz azul y en menor medida por la roja. Esta es la razón por la cual los astros que se encuentran detrás de densas nubes interestelares se nos aparecen más rojos. Este fenómeno es conocido precisamente como enrojecimiento interestelar y la diferencia entre el valor del color medido y el valor medio del índice de color de las estrellas del tipo espectral examinado, se llama "exceso de color".

Abundancia de elementos. Entre los más importantes logros de la Astrofísica, debe incluirse el descubrimiento de que los Elementos químicos que constituyen los diversos cuerpos celestes y su abundancia relativa, son prácticamente iguales en todo el Universo. A este resultado se ha llegado tanto por medio del análisis indirecto de estrellas y galaxias lejanas con los métodos de la Espectroscopia, como a través del análisis químico directo de rocas terrestres, de meteoritos y de rocas lunares. Desde el punto de vista cuantitativo, el elemento más abundante es el Hidrógeno (H) que representa, aproximadamente, el 83,9 % de todos los átomos presentes en el Universo; en segundo lugar se encuentra el Helio (He) con el 15,9 %. Todos los otros elementos cubren el restante 0,2 %. Habitualmente la abundancia de los elementos se expresa con relaciones de números de átomos. En el análisis de la composición química de la Tierra y de los meteoritos se elige con frecuencia, como elemento de referencia, el silicio; en el del Sol y de las estrellas en general, el hidrógeno. La génesis de los elementos más pesados y raros, se explica admitiendo los procesos de transformación nuclear que se producen en el interior de las estrellas a partir de los elementos más livianos.

Aceleración de la gravedad. La fuerza de Atracción gravitacional hace que un objeto en caída libre sobre un cuerpo celeste se mueva, prescindiendo de eventuales resistencias atmosféricas, de modo acelerado, o sea, con un aumento constante de su velocidad por unidad de tiempo, y que se dirija hacia el centro del cuerpo celeste. En la superficie de la Tierra el valor de esta aceleración, que se indica con la letra g , sería igual en cualquier punto si nuestro globo fuese perfectamente esférico y si la fuerza centrífuga debida a la rotación terrestre, que tiene como efecto una disminución de la fuerza de atracción gravitacional, tuviera en cualquier parte el mismo valor. Al no verificarse estas dos condiciones, g (cuyo valor medio es de 980 cm/s^2), varía ligeramente de un lugar a otro.

Aceleración (perfil de). Es una descripción aproximada de las variaciones de la Aceleración por gravedad a que está sometido un astronauta durante las diversas fases del vuelo: en el lanzamiento, en las maniobras en órbita y en la entrada en la atmósfera. Bajo el efecto de las tremendas aceleraciones del despegue y desaceleraciones de reentrada. Los astronautas experimentan un valor g de hasta 8 veces superior al normal.

Acimut. Es una de las dos coordenadas del sistema altacimutal.

Acoplamiento por carga (dispositivo de). Es un dispositivo que permite la obtención de una imagen electrónica de un elemento astronómico, ampliada centenares de veces con respecto a la óptica. En una de sus aplicaciones clásicas está constituido por una placa de circuitos integrados que se coloca en el plano focal de un telescopio. La placa contiene un gran número de diodos, es decir componentes electrónicos que tienen la propiedad de producir un flujo de corriente cuando incide sobre ellos la luz. Se procede de tal manera que la corriente generada por cada diodo se acumule durante una fracción de segundo y después se descargue sobre una serie de diodos sucesivos, que tienen la función de amplificarla y enviarla finalmente a un revelador que convierte los impulsos eléctricos en una imagen. De esta manera, aunque el objeto astronómico resulte muy débil y no pueda ser revelado en una película fotográfica, es posible obtener una imagen visible. Este sistema, además de instalarse en los telescopios de tierra, se coloca en los satélites artificiales y las sondas interplanetarias y a ello debemos las notables y detalladas imágenes de los planetas situados a miles de millones de kilómetros de distancia.

Acromática (lente). Es una lente en la que se ha corregido el fenómeno de la Aberración cromática.

ADAMS (John Couch 1819-1892). Astrónomo inglés que, sobre la base de las irregularidades observadas en el movimiento de Urano -el último planeta conocido hasta 1846-, predijo en 1845 la existencia de un planeta aún más distante que, con su fuerza de atracción gravitacional, perturbaba la órbita de aquél. Cálculos análogos realizados por el francés U. LEVERRIER, permitieron al alemán J. GALLE descubrir Neptuno en la noche del 23 de septiembre de 1846.

Aerolito. Cuerpo celeste de naturaleza pétreo que penetra en la atmósfera y es recuperado sobre la superficie terrestre.
→ *Meteoro, Meteorito.*

Afelio. Es el punto más distante de la órbita de un planeta alrededor del Sol. Es el opuesto al Perihelio, el punto más cercano al Sol.

Agema. Pequeño misil americano muy versátil, utilizado a partir de 1959 como segunda sección del Thor, el Atlas y el Titán para toda una serie de lanzamientos de satélites (por ejemplo la serie Discoverer), de sondas lunares (Ranger, Lunar Orbiter) e interplanetarias (Mariner). También ha sido empleado como vehículo-blanco en las primeras operaciones de Cita (rendez-vous) y Amarre (docking) en el ámbito del programa Géminis. En esta última versión, "Agema B", el misil tenía las siguientes características: altura, 7 m; diámetro, 1,5 m; peso con los depósitos llenos, 6.800 kg; potencia de empuje, 7.260 kg.

Agencia espacial. En los últimos años de la década de los 50, con la finalidad de coordinar los programas espaciales y la actividad de los diversos centros de investigación dedicados a la exploración del espacio, surgieron organizaciones, tanto nacionales como internacionales, a las cuales de manera genérica se da el nombre de agencias espaciales. La más famosa es la NASA, iniciales de la National Aeronautics and Space Administration, fundada en los Estados Unidos el 1 de octubre de 1958. Los países europeos se han asociado en una organización internacional, la ESA, iniciales de la European Space Agency. También países que constituyen medianas y pequeñas potencias han creado agencias sobre el modelo de la NASA. Francia tiene el CNES, iniciales del Centre National d'Etudes Spatiales; Japón, la NASDA; la India, la ISRO (Indian Space Research Organisation).

Agujero Negro. También las estrellas mueren, o por lo menos dejan de existir como tales y se transforman en otra cosa. Nuestro Sol, por ejemplo después de haber producido energía durante 10 mil millones de años transformando hidrógeno en helio (hoy el Sol tiene 5 mil millones de años, encontrándose por lo tanto en la mitad de su ciclo vital), experimentará una profunda transformación: agotado el hidrógeno, su principal combustible nuclear, faltará la presión interna y las capas, más profundas, atraídas por la fuerza de gravedad precipitarán hacia el centro, o bien se colapsarán mientras las externas se expandirán. En el transcurso de este acontecimiento catastrófico la materia solar de las regiones profundas será comprimida hasta tal punto que los espacios entre los átomos serán reducidos y los electrones se disociarán de sus respectivos núcleos. El nuevo estado de equilibrio se alcanzará cuando la presión de los electrones liberados detenga el colapso. En este punto, la enorme esfera del Sol, que hoy es algo más de 100 veces superior a la Tierra, se reducirá al tamaño de nuestro planeta y su luminosidad descenderá 10.000 veces: se convertirá en lo que los astrónomos llaman *enana blanca*. Sin embargo, no todas las estrellas terminan en enanas blancas como el Sol. Existen otras posibilidades. Si una estrella supera en cuatro veces la masa del Sol, el colapso no se detiene en la etapa de enana blanca, sino que continúa. La compresión de la materia, en este caso, es tan potente como para impulsar a los electrones libres contra las partículas positivas de los núcleos (protones), transformándolos en neutrones. El astro que entró en colapso se convierte, entonces, en una *estrella de neutrones*, reduciéndose a un cuerpo mucho más pequeño que la Tierra, de algunas decenas de km de diámetro. La materia de una estrella de neutrones es tan densa que un sólo cm^3 pesa diez billones de toneladas. Enanas blancas y estrellas de neutrones son dos etapas finales de la evolución estelar previstas por la teoría, las que han encontrado precisas confirmaciones en los modernos descubrimientos astronómicos. Sin embargo, hay una tercera salida a la vida estelar, mucho más fascinante y que todavía no ha podido ser verificada por las observaciones: el "agujero negro". Si la estrella que ha agotado su combustible nuclear supera en ocho veces la masa solar, entonces el colapso no se detiene ni siquiera en la etapa de estrella de neutrones, sino que, teóricamente, puede continuar indefinidamente haciendo que la materia se concentre en un punto matemático, mientras su densidad y la fuerza de gravedad tienden a hacerse infinitas. Los efectos de un proceso similar son desconcertantes y de difícil comprensión no sólo para el sentido común, sino incluso para la propia física. La gravedad ejercida por el objeto que entró en colapso, en efecto, sería tan potente que ni siquiera las partículas de luz emitidas por

su superficie (la luz, como es sabido, viaja a la misma velocidad que en nuestro mundo: alrededor de 300.000 km/s) podrían esquivarlo. El objeto se haría invisible, dejando en su lugar una zona totalmente oscura: precisamente un agujero negro. El espacio, que según lo previsto por la teoría de la relatividad general de EINSTEIN se curva por la presencia de una masa, experimentaría una deformación tal como para convertirse en un embudo sin fin, a lo largo del cual el objeto que entró en colapso se deslizaría desapareciendo de nuestro Universo. Una astronave que, por casualidad, tuviera que pasar por las proximidades de un agujero negro, advertiría su presencia como una gran atracción gravitacional, que la haría desviarse de su trayectoria. La astronave podría esquivarlo ejerciendo con sus motores un impulso superior a la fuerza de atracción del agujero negro; o bien podría colocarse en una órbita a cierta distancia, alrededor suyo, como hace un satélite alrededor de la Tierra, equilibrando con la fuerza centrífuga la atracción gravitacional del agujero negro; o, por último, podría dejarse absorber por él precipitándose dentro del embudo gravitatorio. Hay un límite después del cual el comandante de nuestra presunta astronave no podría ni siquiera informarse por radio de lo que le está sucediendo: se llama *horizonte de los acontecimientos* o *radio de Schwarzschild* y representa un umbral traspasado el cual ni siquiera la luz, y por lo tanto las ondas electromagnéticas, tendrían la posibilidad de escapar a la atracción gravitatoria del agujero negro. El horizonte de los acontecimientos es un confín esférico, cuyas dimensiones dependen de la masa del agujero negro: su radio, en km, se puede calcular aproximadamente multiplicando por tres la masa del agujero negro expresada en masas solares. Para un agujero de 10 masas solares, por ejemplo, el horizonte de los acontecimientos es una esfera con radio de 30 km, o bien con un diámetro de 60 km. Precipitándose en el agujero negro, la astronave sería estimada como un elástico a lo largo de la dirección de caída por fuerzas de marea ejercidas por la gravedad y sería, por lo tanto, destruida. Pero admitiendo, hipotéticamente, que estuviese hecha de un material tal como para resistir estas tremendas fuerzas, no volvería a formar parte de nuestro espacio y de nuestro tiempo. En efecto, según algunas teorías los agujeros negros son túneles que se proyectan hacia otros universos, o bien en nuestro propio Universo, pero en espacio y tiempos completamente diferentes. Por esto, el astrónomo americano Carl SAGAN los ha definido pintorescamente como "metros cósmicos". La idea de los agujeros negros fue concebida por primera vez por el matemático y astrónomo francés Pierre Simon DE LAPLACE (1749-1827) hacia finales del siglo XVIII. Calculó que un cuerpo celeste que tuviera la misma densidad que la Tierra, una vez superadas ciertas dimensiones (unas 27.000 veces más grande que nuestro planeta), habría ejercido una fuerza de gravedad tal como para impedir que la luz lo esquivara. Llamó a estos astros imaginarios "cuerpos oscuros", y se convenció de que el Universo debía estar lleno de ellos. A comienzos del siglo XX, poco después de la formulación de la teoría de la relatividad general por EINSTEIN, el físico alemán Karl SCHWARZSCHILD, en un trabajo puramente teórico, calculó cuales deberían ser las propiedades del espacio que rodea a una masa tendente a concentrarse en un punto. En 1939, el físico nuclear Robert OPPENHEIMER y su colaborador Hartland SNYDER, publicaron un trabajo en el cual, por primera vez, tomaban en consideración la idea de que un agujero negro pudiera formarse realmente del colapso gravitacional de una estrella. Desde aquel momento tomó visos de realidad la idea de que los agujeros negros pudieran existir realmente, idea que fue reforzada a partir de los años 70 con

el descubrimiento de algunos objetos astronómicos problemáticos. Así como, por definición, un agujero negro es invisible, hoy se piensa en descubrirlos indirectamente a través de la observación de los procesos energéticos que deberían involucrar a la materia cósmica por ellos eventualmente absorbida. Si, por ejemplo, uno de los componentes de una estrella binaria tuviera que convertirse en un agujero negro, los gases más exteriores de la compañera que gira alrededor suyo serían atraídos hacia el embudo gravitacional, comprimidos, sobre-calentados y emitirían radiaciones de alta frecuencia. Investigaciones de este tipo han llevado a los astrónomos a considerar que uno de los candidatos más probables a agujero negro está representado por el objeto "Cygnus X1", de la constelación del Cisne. Aquí es posible observar una estrella visible que recorre una órbita elíptica alrededor de una compañera invisible, perdiendo materia hacia ella. Esta materia emite un intenso flujo de rayos X. "Cygnus X1" ha sido descubierto en 1971 por el satélite Uhuru, lanzado desde la base espacial italiana San Marco en las costas de Kenya. Otro objeto análogo, y por lo tanto considerado como un posible agujero negro, es el indicado con la sigla "V 861 Scorpii" descubierto en 1978 por el satélite Copérnico. A pesar de estos recientes descubrimientos, no puede darse como absolutamente cierta la existencia de los agujeros negros.

Albedo. Es la relación entre la intensidad de la luz reflejada y la incidente por parte de un cuerpo celeste que no emite luz propia. Se mide con un número comprendido entre 0 y 1, después de haberse establecido que 0 es el albedo de un cuerpo que no refleja luz ninguna y 1 es el albedo de un cuerpo que refleja toda la luz incidente. 0,5, por ejemplo, es el albedo de un objeto celeste que refleja el 50 % de la luz recibida. El albedo de un planeta o de un satélite varía, obviamente, de una zona a otra según la naturaleza de su superficie.

Alfa Centauro. Es la estrella más luminosa de la constelación del Centauro y la que más luce de toda la bóveda celeste después de Sirio y Canopo. Sin embargo, no es visible desde las latitudes europeas porque brilla en el cielo austral. Observada con un telescopio, lo que a simple vista parece una estrella única se revela como un sistema formado por tres soles que rotan alrededor de un Centro de gravedad común. Lo que hace muy interesante al sistema α Centauro es que representa el grupo de estrellas más próximo a nosotros: algo más de 4 años luz. Y así como la Luna fue el primer objetivo de la exploración humana dentro del sistema solar, se prevé que α Centauro se convertirá, dentro de uno o dos siglos, en la primera meta de las exploraciones estelares. A los tres soles de α Centauro, se les ha señalado con las letras A, B y C. A es una estrella amarilla (Categoría espectral G2), muy similar a nuestro Sol, no sólo por el color, sino también en lo relativo a masa, dimensiones y luminosidad. Por este motivo se piensa que puede estar rodeada por planetas del tipo terrestre. B es una estrella azul (K1), más pequeña, más fría y menos luminosa. A y B están la una de la otra a una distancia media de 23 UA y una rota alrededor de la otra en 80,1 años. A una distancia aproximada de 0,16 AL de esta pareja orbita C, el tercer componente físico del sistema, que emplea cerca de un millón de años en realizar un giro completo alrededor de sus dos compañeras. Se trata de una Enana roja, unas cincuenta veces menos luminosa que el Sol. También es llamada Próxima Centauro porque, en la posición actual de su órbita alrededor de A y B, es la estrella más próxima a nosotros. Su distancia, 4,3 AL, puede parecer insignificante

con respecto a los miles de millones de AL de las estrellas más alejadas y, sin embargo, ello equivale aproximadamente a unas 7.000 veces la distancia que nos separa de Plutón, el planeta más alejado del sistema solar. Para cubrir una distancia semejante, una astronave convencional como el "Space Shuttle", emplearía algunas decenas de miles de años. No obstante, ya se están proyectando astronaves a propulsión nuclear como Orión y Dédalo, que podrían viajar al 10 o al 20 % de la velocidad de la luz (300.000 km/s). Ya en la antigüedad α Centauro era conocida como una estrella singular: los árabes la llamaron Rigil Kentaurus (Cuerno del Centauro). Incluso con un modesto anteojito es posible distinguir las dos componentes A y B. A tiene una magnitud de $-0,01$; B de $1,33$. Sus luces combinadas dan lugar a la única estrella visible a simple vista que tiene una luminosidad de $-0,3$. En cambio, el componente C sólo es visible con un potente telescopio: se trata de una estrella Variable explosiva

Alfa (partículas). Son partículas nucleares que tienen carga positiva formadas por un núcleo de Helio, es decir: dos protones y dos neutrones. Las partículas α se forman durante los procesos nucleares que se llevan a cabo en el interior de las estrellas. Constituyen también uno de los componentes de los Rayos cósmicos y del Viento solar.

ALFVÉN (Hannes Olof Gosta 1908). Físico sueco, premio Nobel en 1970, cuyos trabajos abarcan la física fundamental, la astronomía, la astrofísica y la cosmología. Es autor de una teoría que explica el fenómeno de la Aurora polar con la interacción entre las partículas emitidas por el Sol y el campo magnético terrestre. Ha sugerido que los Asteroides pueden ser los materiales residuales resultantes de la fallida formación de un planeta entre Marte y Júpiter. Ha desarrollado una teoría en la que apoya la tesis de que el Universo está formado por una cantidad igual de materia y de Antimateria. Se encuentra entre aquellos que han tratado de explicar la particular distribución del Momento angular en el interior de nuestro sistema solar. El Premio Nobel 1970 le fue otorgado por sus estudios sobre el plasma y sobre los campos magnéticos, con los cuales ha contribuido al desarrollo de los intentos para llevar a cabo la fusión nuclear controlada en los llamados dispositivos de confinamiento magnético.

Algol. Estrella doble de la constelación de Perseo (también llamada β Persei), así denominada, del nombre de un demonio árabe, debido a que cambia periódicamente de luminosidad. Algol es el prototipo de las Variables de eclipse – aquellas estrellas dobles en las cuales una componente oculta periódicamente a la otra, provocando una disminución de la luminosidad-. En el caso de Algol, la estrella más luminosa del sistema es eclipsada cada 68,8 horas por una estrella más débil, que dista de la primera 10 millones de kilómetros. Por efecto de este fenómeno la luminosidad total de Algol desciende de $2,2$ a $3,5$. Después, cuando en el otro extremo de la órbita la estrella más débil desaparece detrás de su compañera más luminosa, se produce un descenso de luminosidad del sistema, pero esta vez es muy pequeño, aproximadamente 1/10 de magnitud, y determinable sólo por medio de un Fotómetro. También forma parte del sistema de Algol una tercera estrella que no toma parte en los eclipses. La variabilidad de Algol, ya conocida por los árabes, fue descubierta en 1669 por el astrónomo holandés Geminiano Montanari y la explicación física de su comportamiento fue dada en 1782 por el inglés John

GOODRICKE. Observaciones radioastronómicas han conducido, en 1971, al descubrimiento de que Algol es fuente de radioemisiones debidas, parece, a intercambios de sustancias gaseosas entre las dos componentes principales del sistema. Algol dista de la Tierra 82 AL.

Algonquín (observatorio). Es uno de los centros más avanzados de investigación para los estudios de Radioastronomía. Se encuentra en Algonquin Park, Ontario (Canadá), y está dotado de una antena parabólica de 46 m de diámetro. Con este instrumento se ha experimentado la técnica de Interferometría de gran línea de base (del inglés Very Long Baseline Interferometry o VLBI), que consiste en poner en comunicación radiotelescopios muy distantes entre sí para obtener un elevado Poder de resolución, es decir, la capacidad de distinguir detalles muy pequeños en objetos celestes lejanos. El radiotelescopio ha sido puesto en conexión con el Parkes en Australia, produciendo una línea de base equivalente al diámetro de la Tierra.

Alouette. Nombre de dos satélites científicos del Canadá para el estudio de la Ionosfera, lanzados desde los Estados Unidos el 28 de septiembre de 1962 y el 28 de noviembre de 1965 respectivamente, en el ámbito de un programa de cooperación. Fueron seguidos de dos satélites de la serie ISIS (International Satellites for Ionospheric Studies).

Altacimutal (montura). Es un tipo de soporte de los instrumentos ópticos que permite mover el tubo del telescopio en cualquier dirección.

Altacimutal (sistema de coordenadas). Es uno de los sistemas que se utilizan para establecer la posición de un objeto en la esfera celeste.

Amaltea. Es uno de los satélites de Júpiter más peculiares. Descubierta en 1882 por Edward Emerson BARNARD, ha sido fotografiada de cerca por primera vez en 1979 por la sonda interplanetaria americana Voyager 1. Tiene forma oblonga con el eje mayor de aproximadamente 270 km y el menor de 150 km. "Parece una patata rojo-oscura y con picaduras", comentaron estudiosos americanos cuando vieron por primera vez las Imágenes captadas de cerca. Está en órbita aproximadamente a 181.000 km de Júpiter (la mitad de la distancia Tierra-Luna) y cubre su recorrido en alrededor de 12 horas; tiene una temperatura superficial superior a la que se supondría si se limitara a reflejar la luz que recibe del Sol y de Júpiter. Este fenómeno es explicado por una interacción entre el pequeño satélite y el intenso campo magnético jupiteriano en el cual está inmerso. En lo relativo a la naturaleza de su superficie rojo-oscura, existe la hipótesis que esté recubierta con sulfuros expulsados por la actividad volcánica del cercano satélite Io.

Amarre espacial. Es una operación que consiste en juntar físicamente dos naves espaciales que se encuentran, por ejemplo, en órbita terrestre. Está precedida por una Cita (rendez-vous) durante la cual las dos naves se acercan hasta tener velocidad relativa nula. Los técnicases de amarre: "hard-docking"(amarre duro) que consiste en unir físicamente dos extremos de los vehículos espaciales que antes estaban separados, y "soft-docking" en el que la maniobra se limita a unir ambos vehículos por medio de un cable. El primer "hard-docking" en órbita terrestre fue realizado en 1966 por la astronave Géminis 8 con un misil Agena.

Ames. Es uno de los centros de estudio de la NASA, fundado en 1940 en Moffet Field, California. Ha tomado el nombre de Joseph Ames, el primer presidente del organismo aeroespacial que precedió a la constitución de la NASA y que se llamaba NACA, iniciales de National Advisory Committee for Aeronautics. Entre los campos de estudio más importantes que abarca se encuentran: los efectos del vuelo espacial sobre el organismo humano; la dinámica de la entrada en la atmósfera de vehículos como el "Space Shuttle"; la existencia de vida en el espacio.

Amor. Nombre de un Asteroide, descubierto en 1932, que roza la órbita terrestre permaneciendo sin embargo en su exterior. Por extensión con el nombre Objetos Amor se suele indicar una clase de objetos asteroidales cuyas órbitas se aproximan mucho a la Tierra, pero que sin embargo no atraviesan la órbita.

Andrómeda (galaxia de). Es un sistema de estrellas similar a nuestra Galaxia, pero mucho más grande: se calcula que su diámetro sea de aproximadamente unos 200 mil AL (el doble) y el número de estrellas que contiene está alrededor de los 300 mil millones (el triple). También se identifica con la sigla M 31 del catálogo Messier o NGC 224 del New General Catalogue. En las noches sin Luna es visible a simple vista (4^m,9) como una pequeña y tenue nebulosidad de forma elíptica situada en la constelación homónima. Sin embargo es al telescopio donde se revela en su espectacular estructura de disco formada por miríadas de estrellas, caracterizada por brazos en espiral y acompañada por dos pequeñas galaxias, M 32 y NGC 205, que giran a su alrededor igual que lo hacen las dos nubes de Magallanes con nuestra Galaxia. Su distancia del Sol es de 2,2 millones de AL. Andrómeda constituye, por tanto, la Galaxia más próxima a nosotros y también el objeto celeste más lejano visible a simple vista. Junto con al menos una treintena de otras galaxias, entre las cuales se halla la nuestra, Andrómeda es un miembro del llamado Grupo Local, un sistema de galaxias relacionadas gravitacionalmente.

Andromédidas. Enjambre anual de Estrellas fugaces que son visibles desde el 23 al 27 de noviembre y que parecen irradiarse desde la constelación de Andrómeda.

Anecoica (cámara). Es una cámara cuyas paredes tienen una estructura tal que absorben todos los sonidos. Estando en su interior se siente una desagradable sensación de total acolchamiento y es posible, después de algunos segundos de adaptación, sentir perfectamente los latidos del propio corazón. Las cámaras anecoicas son empleadas para estudiar las reacciones humanas al silencio absoluto.

Ångstrom. Unidad de medida equivalente a la diez mil millonésima parte del metro (10^{-10} m), cuyo símbolo es Å utilizada principalmente para indicar las longitudes de onda de la luz visible. El nombre proviene de Anders Jonas ÅNGSTROM (1814-1874), físico sueco, pionero de los estudios de espectroscopia.

Anillos planetarios. Desde mediados de los años 70 se ha descubierto que lo que parecía una peculiaridad de Saturno, es decir los anillos que rodean a este planeta son una estructura común a otros cuerpos del sistema solar. En 1974 la sonda Pioneer 11 proporcionó los primeros indicios de un anillo jupiteriano, sucesivamente estudiado en sus detalles por los Voyager 1 y 2. Se trata de una estructura muy fina,

que se extiende aproximadamente de 1 a 2 radios planetarios, formada por partículas de tamaño micrométrico y cuya composición es probablemente silíceo. En 1977, durante la observación de Ocultación estelar por parte de Urano efectuada desde la Tierra, se descubrió un sistema de 9 anillos alrededor de este planeta. Se extienden aproximadamente entre 1,6 y 2 radios planetarios y parecen constituidos por fragmentos rocosos de dimensiones comprendidas desde unos centímetros hasta algunos metros. En 1980 y 1981, las sondas "Voyager" han contado millares de anillos alrededor de Saturno, allí donde los instrumentos desde la Tierra sólo distinguen 4. Se extienden entre 1,2 y 2,3 radios planetarios aproximadamente, parecen formados por bloques de hielo de dimensiones variables desde pocos centímetros a algunos metros y están dirigidos por una dinámica muy compleja. En 1982, elaborando en la computadora los datos de observaciones efectuadas desde Nueva Zelanda, un grupo de astrónomos estadounidenses llegó a la conclusión que también Neptuno está rodeado de anillos. Por ahora se piensa que son dos, distantes respectivamente, 0,11 y 0,25 radios planetarios. La hipótesis podrá confirmarse en 1989, cuando la sonda "Voyager 2" pase junto al planeta. La opinión de algunos planetólogos es que los anillos representaron una etapa obligada en la formación nuestro sistema solar; que todos los planetas y tal vez los satélites más grandes poseían un sistema de ellos; y que los que subsisten, constituyen un resto fósil. Las investigaciones se están extendiendo, por tanto, a todos los planetas y al propio Sol, con la esperanza de encontrar estos antiguos detritos, restos de la planetogénesis.

Antimateria. Como la misma palabra dice, es lo opuesto de la materia, es decir: una materia cuyas partículas elementales tienen carga eléctrica opuesta a la normal. Así, en un átomo de antimateria encontramos en lugar de protones (positivos), antiprotones (negativos) y, en lugar de electrones (negativos), antielectrones o positrones (positivos). Cuando una partícula y una anti-partícula entran en contacto, se produce el fenómeno de la aniquilación o sea de la transformación de la materia en energía. La antimateria, prevista teóricamente por el físico de los años 30, ha sido producida en laboratorios desde mediados los años 50, gracias a los potentes aceleradores de partículas. Según una teoría cosmológica, en el Universo existen cantidades iguales de materia y de antimateria confinada, obviamente, en regiones distantes entre sí. Sin embargo, en los puntos de encuentro, se producirían grandes fenómenos de aniquilación. Los rayos γ , que se observan como radiación de fondo del Universo, son interpretados por algunos como el producto secundario de esta aniquilación. Según otra teoría, en cambio, materia y antimateria existían por partes iguales en el origen del Universo pero con un leve excedente de la primera sobre la segunda. Por consiguiente, la antimateria habría sido totalmente destruida por la aniquilación y el Universo actual estaría constituido por el residuo de materia superviviente. En el estado actual de los conocimientos físicos resulta imposible determinar, a través de observaciones astronómicas a distancia, si una lejana galaxia está hecha de materia o de antimateria, debido a que ambas producen emisiones electromagnéticas idénticas.

Antoniadi, (Eugene M. 1870-1944). Astrónomo francés de padres griegos, nació en 1870 y murió en 1944. Debe su fama a las precisas observaciones de los planetas, en particular de Marte y Mercurio. De este último dibujó un mapa a partir de las observaciones que había efectuado con el refractor Meudon, del Observatorio homónimo próximo a

París, de 33 pulgadas (81 cm). La nomenclatura que el astrónomo adoptó para la cartografía de los planetas está todavía en uso en la actualidad. Ha dado el nombre a la llamada "escala Antoniadi" o "seeing", que mide la cualidad de las condiciones de observación y en la cual la numeración va de I (perfecta) a V (pésima).

Año. El año, entendido genéricamente, es el tiempo -365 días en cifras redondas- que emplea la Tierra en dar una vuelta completa alrededor del Sol. Para los cálculos astronómicos, sin embargo, deben tomarse en consideración y definirse con mayor precisión diversos tipos de año. Año sideral. Es el período de revolución de la Tierra alrededor del Sol medido con respecto a las estrellas fijas. Equivale a 365,2564 días (o bien 365d, 6h, 9m, 10s). Año trópico. Es el tiempo comprendido entre dos pasajes sucesivos del Sol por el Equinoccio de primavera (o primer punto de Aries). Equivale a 365,2421 (o bien 365d, 5h, 43m, 46s), es decir aproximadamente unos 20' menos que el año sideral, debido a que el primer punto equinoccial retrocede a causa de la Precesión de los equinoccios. También es denominado año civil, porque hace referencia al calendario civil. Año anomalístico. Es el tiempo comprendido entre dos pasajes sucesivos de la Tierra por el Perihelio. Equivale a 365,2596 (o bien 365d, 6h, 13m, 53s). Es aproximadamente unos cuatro minutos más largo que el año sideral, porque el perihelio de la órbita terrestre es ligeramente desplazada hacia adelante cada año por las perturbaciones de los otros planetas.

Año luz. Es la distancia recorrida en un año por la luz en el espacio a la velocidad de 299.792.458 km/s. Equivale a $9,46 \cdot 10^{12}$ km o bien a 63.240 UA o también a 0,3066 pc.

Apogeo. Es el punto más distante de la órbita de la Tierra alrededor del Sol. Es el opuesto del Perigeo, el punto más próximo al Sol.

Apolo (asteroide). Nombre de un Asteroide, descubierto en 1932, que atraviesa la órbita de la Tierra. Con el nombre de Objetos Apolo se han designado, a partir de aquella fecha, a todos los asteroides que llegan al interior la órbita terrestre. Algunos meses después del descubrimiento de Apolo, fue descubierto otro asteroide denominado Amor que roza la órbita de la Tierra aunque sin embargo permanece en el exterior. Por este motivo se suele indicar como "Objetos Apolo-Amor" a los asteroides que se aproximan considerablemente a nuestro planeta.

Apolo (programa espacial). Es el nombre de un programa espacial americano (y de las astronaves que formaron parte de él) que el 20 de julio de 1969 consiguió llevar por primera vez al hombre a la Luna y que en el plazo de un trienio, desde 1969 a 1972, han posado sobre nuestro satélite natural 6 expediciones con un número total de 12 astronautas. Las premisas. La decisión de encaminar todos los esfuerzos del programa espacial sobre la Luna fue tomada por la NASA al comienzo de los sesenta, cuando los Estados Unidos estaban bajo el "shock" de la supremacía espacial soviética e intentaban recuperar, frente a la opinión pública, el prestigio anterior como potencia mundial absoluta. Fue el presidente J. F. Kennedy, el 25 de mayo de 1961, en su mensaje anual al Congreso sobre el estado de la Unión, quien anunció que antes del final de la década, América llevaría un hombre al suelo lunar y le haría retornar a la Tierra sano y salvo. Inmediatamente se tomaron en consideración tres tipos de misiones: 1) Ascensión directa (Direct

Ascent), consistente en un lanzamiento directo Tierra-Luna realizado con un super-misil "Nova", que después la NASA nunca construyó. 2) Cita en órbita terrestre (Earth Orbit Rendez-vous), caracterizada por la unión en órbita terrestre de una astronave y un sistema de propulsión, lanzados separadamente. 3) Cita en órbita lunar (Lunar Orbit Rendez-vous), consistente en el lanzamiento de la astronave y del sistema de propulsión con un solo misil. Realizada la travesía Tierra-Luna, un módulo lunar se separaría de la astronave madre para llevar a cabo la exploración de nuestro satélite y, más tarde, volvería a unirse a ella en órbita lunar. Hacia finales de 1962, la elección cae sobre el tercer método, cuya concepción es atribuida a John Houbolt, un investigador de la NASA. Otros estudiosos hacen notar que una exploración lunar de este tipo ya fue descrita a comienzos del siglo XX por Juri KONDRATYUK (1897-1942), uno de los padres de la misilística soviética. Al mismo tiempo la NASA impulsó la construcción del supermisil Saturno, que habría hecho posible la misión. La astronave. La astronave "Apolo", con la cual se realizó la conquista de la Luna, estaba compuesta esencialmente de tres partes: 1) Un módulo de mando de forma cónica, con una base de 4 m de diámetro, una altura de 3,2 m y un peso de 5 toneladas. En su interior estaban los asientos para los tres astronautas integrantes de la tripulación y los paneles de control. En el vértice del cono, un túnel servía para poner en contacto este módulo con el de expedición lunar (ver punto 3). En la base del módulo había un escudo térmico para proteger la astronave de las altas temperaturas por fricción que se producen a la entrada en la atmósfera. 2) Un módulo de servicio, con forma cilíndrica (4 m de diámetro, 7,4 m de longitud y 25 toneladas de peso), contenía el depósito de combustible, los generadores de electricidad, un gran propulsor principal y cuatro menores para las maniobras en el espacio. 3) Un módulo de expedición lunar, también llamado LEM, iniciales de Lunar Excursion Module, con una forma característica de araña con cuatro patas. Tenía una altura total de 7 metros y un peso de 15 toneladas. Cumplía la función de bote en el cual se trasladaban dos de los tres astronautas que debían efectuar el desembarco sobre suelo lunar. Estaba compuesto, a su vez, de dos partes: un habitáculo en la cima y una sección de descenso provista, en la base, de cuatro "patas". Esta última hacía de rampa de lanzamiento y quedaba en la Luna en el momento de la partida desde nuestro satélite natural. Los ensayos. En la primera mitad de los años sesenta, tanto las diversas partes del cohete "Saturno" como las de la astronave "Apolo" son construidas y sometidas a los primeros ensayos en tierra. El 26 de febrero de 1966, con el lanzamiento sub-orbital del "Apolo 1", se realiza la primera prueba de vuelo sin hombres a bordo. Pero en la práctica se trata de un simple ensayo de la primera sección del cohete, que lleva en la cima sólo una maqueta de la astronave. La astronave con tres hombres a bordo, Virgil GRISSOM, Edward White y Roger Chaffee, habría tenido que realizar la primera prueba en órbita terrestre el 21 de febrero de 1967, pero casi un mes antes, durante un ensayo general, estalló un incendio en el módulo de mando. Los tres hombres intentaron salir, pero se bloqueó la portezuela de salida: murieron carbonizados sin que los técnicos de la base pudieran hacer nada por salvarlos. El incidente impone una revisión de la astronave y un mejoramiento de sus sistemas de seguridad. El programa sufrirá un nuevo aplazamiento de año y medio. El test sin hombres a bordo se prorroga hasta el vuelo designado como "Apolo 6", el 4 de abril de 1968. Entre finales de 1968 y mediados de 1969, con los vuelos desde el "Apolo 7", al "Apolo 10" se realizan con total éxito los ensayos más significativos antes de des-

cender sobre la Luna. Con el "Apolo 8", en la Navidad de 1968, los astronautas Frank BORMAN, James LOVELL y William ANDERS, se convierten en los primeros hombres que estuvieron en órbita alrededor de la Luna. Con el "Apolo 10", los dos astronautas Thomas STAFFORD y Eugene CERNAN pasan del módulo de mando al LEM y descienden hasta 14 km de altura sobre la Luna, mientras su compañero John YOUNG queda esperándolos en una órbita lunar más alta. El camino para el descenso sobre nuestro satélite natural estaba abierto. El descenso a la Luna. La histórica misión que llevará al descenso de los primeros hombres sobre la Luna se inicia el miércoles 16 de julio de 1969. A las 15,32 (hora legal española), desde la plataforma A del complejo 39 del Centro espacial John F. Kennedy en Florida, parte el "Saturno V" con la astronave "Apolo 11", que lleva a bordo a Neil ARMSTRONG, 38 años, comandante; Michael COLLINS, 38 años, piloto del módulo de mando; Edwin ALDRIN, 39 años, piloto del módulo lunar. El plan de vuelo se desarrolla normalmente. Los tres módulos de la astronave son colocados en una órbita de estacionamiento alrededor de la Tierra a una altura de 215 km. Aquí, después de una vuelta y media, son re-encendidos los motores de la tercera sección del "Saturno", que quedó unido a la astronave por la llamada "inyección translunar", es decir, por la introducción en la trayectoria de cita con nuestro satélite natural. Más tarde es realizada con éxito otra delicada maniobra: los módulos de mando y servicio, que están unidos entre sí, son girados 180 y amarrados al módulo de expedición lunar de manera que los dos astronautas que deberán descender a la Luna, ARMSTRONG y ALDRIN, puedan pasar a través del túnel de conexión en el momento oportuno. La travesía Tierra-Luna durará tres días, durante los cuales los tres hombres consumen sus alimentos, descansan y mantienen frecuentes contactos con el centro espacial de Houston que dirige la misión. Todo el mundo les sigue con ansia y curiosidad, incluso aquéllos que se declararon contrarios a este programa faraónico que costará en total 4,3 billones de pesetas a precios de 1978. Durante la carrera para llegar a la Luna se establece también una especie de competición entre el "Apolo 11" y el "Lunik 15", una sonda automática soviética que, se piensa, quería llegar la primera a suelo lunar y traer de vuelta algunas muestras del terreno. Sin embargo, el vuelo de ésta última concluyó al chocar contra la Luna y destruirse. A las 19,47 del 19 de julio se encienden los motores del módulo de servicio para frenar a la astronave y colocarla en órbita lunar. También esta maniobra esta coronada por el éxito y los tres astronautas giran ahora a unos 100 km de altura del suelo lunar. La mañana del 20 ARMSTRONG y ALDRIN pasan al módulo lunar que ha sido bautizado como "Eagle" (Águila), y comienzan una larga serie de controles. A las 19,47 el "Eagle" se separa de los módulos de mando y de servicio (esta otra sección de la astronave fue bautizada "Columbia") y desciende hasta una órbita que está apenas a 15 km de altura de la superficie lunar. A las 20,02 el "Eagle" inicia el vuelo y desciende dulcemente, como una pluma, hacia un lugar en la parte centro-occidental del Mar de la Tranquilidad, elegido con anterioridad. Toca el suelo sin problemas a la 22 h 17 mi 40 s. Las coordenadas del lugar de descenso son 0° 42' 50" N, 23° 42' 28" E. "Estamos sobre un suelo rocoso, en una zona relativamente plana, con cráteres anchos de 2 a 17 m. Vemos algunas altura como colinas; hay alrededor nuestro millares de pequeños cráteres", transmite ALDRIN a los controladores de Houston. Después de otras tres horas para los controles instrumentales y las largas maniobras de despresurización del habitáculo, ARMSTRONG y ALDRIN se preparan para descender. Son las 4,56 del lunes 2 de julio.

Todo el mundo sigue la empresa en directo por televisión. El comandante del "Apolo" desciende la escalerilla del LEM y apoya cautelosamente un pie sobre el polvo lunar dejando la huella de su bota. Después pronuncia una frase que se hace histórica que había preparado ya desde hacía bastante tiempo: "Es un pequeño paso para un hombre, pero un salto gigantesco para la humanidad". La excursión dura más de 14 horas durante las cuales, además de dejar una placa con sus firmas y la del presidente Richard Nixon y una bandera americana clavada en el suelo, los dos astronautas realizan importantes trabajos científicos: recogen 22 kg de rocas lunares, obtienen miles de fotos del paisaje, instalan un sismómetro, un generador de rayos láser para medir la distancia Tierra-Luna y un colector de viento solar. Después, a las 19,34 del 21 de julio, el "Eagle" parte hacia su cita con la "Columbia" que permaneció esperando en órbita lunar. También esta maniobra se lleva a cabo a la perfección y, a las 6,35 del 22 de julio, los tres hombres reunidos en la "Columbia", encienden los motores de la astronave para iniciar el viaje de retorno. Todo lo demás es rutina: la misión concluirá el 24 de julio a las 18,50 con un amerizaje perfecto del módulo de mando (todas las otras partes de la astronave fueron abandonadas a lo largo de trayecto) en el Océano Pacífico. Después de la "Apolo 11" se realizaron otras 6 misiones lunares. De ellas sólo una, la "Apolo 13", no pudo completarse con el alunizaje en nuestro satélite. La causa fue una explosión de los depósitos de oxígeno, que puso en peligro la vida de los tres astronautas LOVELL, HAISE y SWIGERT, pero que finalmente terminó con una feliz vuelta a la Tierra. Las otras misiones profundizaron en la exploración de la superficie lunar tanto en las "tierras" como en los "mares", valiéndose también de un vehículo llamado jeep lunar. El programa "Apolo" se concluyó antes de lo previsto tanto por razones económicas, como porque ahora ya no aparecía suficientemente motivado a los ojos de la opinión pública después de que los Estados Unidos hubieran logrado nuevamente la supremacía espacial. Si se prescindiera de los costos de realización, es indudable que su contribución científica al conocimiento de nuestro satélite natural y a la evolución de las tecnologías astronáuticas fue enorme.

Apolo-Soyuz. Ha sido la experiencia más espectacular de cooperación internacional en el espacio: el 5 de julio de 1975, la astronave americana Apolo con tres hombres a bordo se unió a la cosmonave soviética Soyuz con dos astronautas, a 225 km sobre la Tierra. Un acuerdo quinquenal estipulado en 1972 entre las dos grandes potencias, preveía el estudio de un "sistema compatible de cita y amarre de las estaciones y de las naves habitadas de la Unión Soviética y de los Estados Unidos, con el fin de aumentar la seguridad de los vuelos humanos en el espacio y de tener la ocasión, en el futuro, de efectuar experiencias científicas conjuntas". Los problemas de compatibilidad técnica a resolver fueron bastantes: en primer lugar los dispositivos de Amarre del "Apolo" y de la "Soyuz", si bien funcionaban en base a los mismos principios, tenían dimensiones y mecanismos completamente diferentes. Para superar este obstáculo sin tener que modificar el proyecto original del "Apolo", los americanos construyeron el denominado "módulo de amarre": por un lado se introducía en uno de los extremos del "Apolo" y por el otro lo hacía en la "Soyuz". Surgieron otros problemas sobre las condiciones de la tripulación durante el tránsito de una nave a otra: en efecto, al ser diferentes las presiones atmosféricas creadas por los ingenieros americanos y soviéticos en las cabinas de las respectivas astronaves, el paso directo de los miembros de la tripulación habría pro-

vocado en ellos una grave descompensación orgánica. Por tanto, se decidió crear una cámara de compensación en el módulo de amarre. Ulteriores problemas de orden técnico estaban relacionados con las comunicaciones entre las dos astronaves en vuelo, la coordinación entre los dos motores y, además, problemas meteorológicos y de organización, como la estandarización de la terminología y la superación de la barrera idiomática. Todos estos problemas fueron resueltos y el amarre en órbita se realizó sin ningún incidente, concluyendo antes de lo previsto. El histórico apretón de manos en el espacio entre el comandante soviético Alexei LEONOV y el americano Thomas STAFFORD, fue seguida con emoción por telespectadores de todo el mundo. Lo otros miembros de la misión, denominada ASTP, iniciales de "Apollo-Soyuz Test Project", eran el ruso Valeri N. KUBASOV, ingeniero de vuelo, así como los pilotos americanos Donald K. SLAYTON y Vance C BRAND. Además de constituir un antecedente para eventuales misiones de auxilio en el espacio entre astronaves de los dos países, otro de los objetivos principales fue la realización de experimentos relativos a la microgravedad, la astronomía, la medicina y la observación de la Tierra. Se realizaron 32 experimentos en el ámbito de 5 proyectos. Particularmente espectacular fue el del Eclipse solar artificial, durante el cual el "Apolo" hizo de disco de ocultación del Sol, mientras la tripulación de la "Soyuz" efectuaba observaciones y tomaba fotografías de la Corona solar.

Ápsides. Son los puntos extremos de la Órbita de un cuerpo celeste en su movimiento alrededor de otro. En el caso de las órbitas de los planetas que rotan alrededor del Sol, los dos ápsides se llaman Perihelio (el punto más próximo) y Afelio (el punto más lejano); en el caso de la órbita terrestre, Perigeo y Apogeo. La línea que une los dos puntos apsidales se llama línea de los ápsides y, para una órbita elíptica, corresponde al eje mayor de la Elipse.

Arecibo (Observatorio astronómico). Es el Radiotelescopio más grande del mundo, situado en Puerto Rico, utilizado tanto para captar las ondas de radio celestes, como para la transmisión de impulsos de Radar. Esta constituido por un reflector hemisférico con un diámetro de 305 metros, teniendo por encima una antena sostenida por tres grandes pilares. La función del reflector es la de concentrar las ondas de radio procedentes del espacio en la antena, que está unida electrónicamente con la sala de control donde son analizadas las señales. Cuando es utilizado como un transmisor de radar, debe enviar al espacio las señales que recibe de la antena. El radiotelescopio no puede ser orientado, pero moviendo la antena puede explorarse una vasta zona del cielo (del 43o Norte al 6o Sur). El instrumento, que ha sido instalado en 1963 y cuya superficie reflectora fue reconstruida en 1974, es utilizado para estudios sobre la ionosfera, para la cartografía radar de la Luna y de los planetas y, además, para la Radioastronomía. El 16 de noviembre de 1974, se transmitió desde el Observatorio de Arecibo la señal de radio más potente dirigida por la humanidad a las estrellas, con la esperanza de que exista alguna forma de vida extraterrestre en un sistema solar similar al nuestro. El mensaje contenía una serie de informaciones sobre la vida terrestre: un esquema de números, los átomos de los elementos de los que estamos principalmente constituidos (hidrógeno, carbono, nitrógeno, oxígeno y fósforo), imágenes esquemáticas de la doble hélice del DNA, de un ser humano, del sistema solar y del propio radiotelescopio de Arecibo. La señal cifrada, dirigida hacia un cúmulo globular de alrededor de 300.000 estrellas llamado M 13,

situado en la constelación de Hércules, podría ser captado por algunas civilizaciones terrestres dentro de 24.000 AL, porque tal es la distancia que nos separa de M 13.

Ariel (satélites). Con este nombre se conoce una serie de 6 satélites científicos británicos lanzados desde los Estados Unidos entre 1962 y 1979. Los dos primeros fueron construidos en los Estados Unidos con el equipo científico proporcionado por Gran Bretaña. Sin embargo los otros fueron completamente de construcción inglesa. "Ariel 1", lanzado el 26 de abril de 1962, estudió la Ionosfera y las radiaciones solares; "Ariel 2", (27 de marzo de 1964) efectuó estudios atmosféricos y de Radioastronomía; "Ariel 3" (5 de mayo de 1967) y "Ariel 4" (11 de diciembre de 1971) desarrollaron estudios sobre la ionosfera y de radioastronomía; "Ariel 5" (15 de octubre de 1974) trazó un mapa del cielo con Rayos X, examinando en detalle algunas fuentes estelares de estas radiaciones; "Ariel 6" (2 de junio de 1979) estudió los Rayos cósmicos y los rayos X.

ARISTARCO de Samos (310-240 a. J.C.). Genial astrónomo y matemático griego, que vivió en el siglo III a. J.C. Fue el sostenedor más autorizado de un sistema heliocéntrico del Universo, que elaboró basándose en la concepción de HERÁCLIDES del Ponto (IV siglo a. J.C.), quien pensaba que los llamados planetas inferiores (Mercurio y Venus) giraban alrededor del Sol, que a su vez describía su órbita alrededor de la Tierra inmóvil. ARISTARCO perfeccionó esta teoría y llegó a afirmar que todos los planetas, comprendida la Tierra, giran alrededor del Sol. Sin embargo, esta osada especulación, con la cual anticipó el sistema de COPÉRNICO, que hasta el año 1500 no se afirmaría, no tuvo seguidores en su época, dominada por la concepción geocéntrica. Otro importante estudio al que se dedicó ARISTARCO fue el relativo a las dimensiones del Sol y la Luna y su distancia de nuestro planeta. En su obra *De magnitudinibus et distantibus solis et lunae* (que llegó hasta nosotros en la traducción latina), el científico describe su método geométrico para calcular las distancias de la Tierra al Sol y a la Luna y los respectivos diámetros; debido a los rudimentarios instrumentos de que disponía, llegó a estimaciones muy por debajo de la realidad. Un cálculo bastante preciso fue realizado algunos decenios más tarde por ERATÓSTENES.

ARISTÓTELES (384-322 a. J.C.). Fue uno de los filósofos y científicos griegos más importantes. Su influencia fue tal que algunas de las teorías que elaboró se mantienen vigentes todavía, dos mil años después de su muerte (entre otras muchas baste recordar la doctrina de la fuerza inmóvil que, revisada y profundizada en clave cristiana por Santo Tomás de Aquino en el medioevo, constituye hasta ahora la base sobre la cual se apoya todo el edificio de la teología católico-romana). En el campo astronómico, adelantó los primeros argumentos sólidos contra la tradicional teoría de la Tierra plana, haciendo notar que las estrellas parecen cambiar su altura en el horizonte según la posición del observador en la Tierra. Por ejemplo, la Estrella Polar aparece desde Grecia alta sobre el horizonte, porque Grecia está bastante más al norte del Ecuador; en cambio, desde Egipto parece más baja, y desde latitudes más al Sur puede no verse en absoluto, porque no aparece nunca. Este fenómeno puede explicarse partiendo de la premisa que la Tierra es una esfera; pero resulta incomprensible suponiendo que sea plana. ARISTÓTELES notó además que durante los eclipses lunares, cuando la sombra de la Tierra se proyecta sobre la Luna, la línea del cono de sombra es curva: esta es una ulterior demostración de que la superficie de la Tierra debe

ser curva. El gran filósofo elaboró también un modelo propio del Universo que se fundamentaba en el sistema geocéntrico propuesto por EUDOXIO de Cnido (¿408-355? a. J.C.) y sucesivamente modificado por CALIPO (¿370-300? a. J.C.). En el sistema de EUDOXIO, llamado de las esferas homocéntricas (que tienen un centro común), la Tierra era imaginada inmóvil en el centro del Universo y los cuerpos celestes entonces conocidos, fijados a siete grupos de esferas de dimensiones crecientes desde la más interna a la más externa: tres esferas pertenecían a la Luna, tres al Sol y cuatro a cada uno de los planetas entonces conocidos (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno), con un total de 26 esferas celestes. Cada cuerpo celeste se imaginaba fijado a la esfera más interior del propio grupo; las otras del mismo grupo estaban unidas a la interior mediante un sistema de ejes polares desfasados entre sí. Todas estas complicaciones, en la total ignorancia de los movimientos de rotación y revolución de los planetas, servían para explicar, de algún modo, sus trayectorias aparentes a través del cielo. Más tarde CALIPO, discípulo de EUDOXIO, con la finalidad de hacer funcionar mejor todo el conjunto, llevó a 33 el número total de esferas. Sin embargo, parece que EUDOXIO y CALIPO pensaban en sus esferas como un recurso geométrico, carente de consistencia física, inventado sólo para explicar y prever el movimiento de los cuerpos celestes. En cambio ARISTÓTELES considera que las esferas, constituidas por una sustancia purísima y transparente, rodeaban realmente a la Tierra, teniendo engarzados como diamantes a todos los cuerpos celestes visibles. En el intento de explicar el origen de los movimientos planetarios, ARISTÓTELES pensó en una "fuerza divina" que transmitía sus movimientos a todas las esferas desde la más externa, o esfera de las estrellas fijas, a la más interna, o esfera de la Luna. Sin embargo esta idea se tradujo en una enorme complicación de todo el sistema, ya que elevó de 33 a 55 el número total de esferas, todas relacionadas entre sí. La teoría descrita en su obra *Metafísica*, fue sustituida por el sistema de TOLOMEO (II siglo d. J.C.), siempre geocéntrico, pero que tenía en cuenta de manera más precisa los movimientos celestes y que fue universalmente aceptado hasta COPÉRNICO (¿1473?-1543). Entre las obras científicas del filósofo griego dedicadas al cielo, es preciso recordar la *Meteorología* y el *De Coelo*.

Armilar (esfera). Es un antiguo instrumento empleado hasta el 1600, que servía para determinar las Coordenadas celestes de los astros. Estaba constituido por un cierto número de círculos (de donde viene su nombre latino *armilla*, que significa círculo) insertos el uno en el otro, representando el ecuador celeste, la Eclíptica, el Horizonte, el Zodiaco, etc., de tal manera que una vez dirigida hacia una estrella, se podían leer sus coordenadas celestes sobre las escalas graduadas. Las esferas armilares fueron utilizadas por los astrónomos árabes, por HIPARCO y por TOLOMEO. Tuvieron un gran desarrollo en la época durante la que vivió el astrónomo danés TYCHO BRAHE (1576-1601), que montó varias en su laboratorio.

ARMSTRONG, (Neil Alden 1930). Comandante de la famosa misión americana "Apolo 11", fue el primer hombre en pisar suelo lunar, a las 4,56 del 21 de julio de 1969, pronunciando la histórica frase: "es un pequeño paso para un hombre, pero un gigantesco salto para la humanidad". ARMSTRONG, a diferencia de la mayor parte de los astronautas de la NASA, no es de la escala militar; participó en la guerra de Corea como piloto de la marina, realizando 78 vuelos hasta que su avión fue derribado durante un combate y se salvó saltando en paracaídas. Entró en la NASA en

1962 como experimentador civil; fue piloto jefe del avión-cohete "X 15" y de la misión "Géminis 8", con la que se realizó, en marzo de 1966, el primer amarre en el espacio, a pesar del imprevisto accidente técnico que él, junto con su colega David SCOTT, afrontó con inteligencia y valor. Lo que sucedió fue que, inmediatamente después del amarre, el "Géminis 8" y el cohete-blanco "Agena" se pusieron a girar sobre sí mismos, a causa de un desperfecto en uno de los servo-motores que regulaban la posición de la astronave. Con maniobras precisas ARMSTRONG y SCOTT lograron estabilizar la nave y volver a Tierra. Graduado como ingeniero aeronáutico, después de la misión "Apolo 11" Neil ARMSTRONG abandonó la NASA para convertirse en profesor de ingeniería aeroespacial en la Universidad de Cincinnati.

Asociaciones estelares. Con este nombre se indican grupos de estrellas con características físicas similares y que se encuentran reunidas en una cierta región del espacio. No deben confundirse con los cúmulos estelares porque, al contrario de éstos, tienen una densidad bastante menor y no están caracterizados por una estructura particular. Entre asociaciones y cúmulos existe sin embargo una relación, ya que en el centro de muchas asociaciones se han descubierto cúmulos abiertos. Las asociaciones estelares son de dos tipos: 1) Las más conocidas y numerosas son las constituidas por estrellas gigantes de altísima temperatura, también llamadas "Asociaciones O", porque su Categoría espectral va de O a B2. Las estrellas que forman parte de ellas, un centenar como promedio, son estrellas jóvenes (algunos millones de años), animadas por un movimiento de expansión de algunos km/s y se encuentran habitualmente inmersas en nubes de hidrógeno. Un ejemplo típico está representado por la asociación contenida en la denominada "nebulosa de la roseta", clasificada con el número de catálogo NGC 2244. 2) Menos numerosas resultan en cambio las asociaciones formadas por estrellas variables enanas de edad muy joven. También son llamadas "Asociaciones T" de T Tauri, es decir del prototipo de estrella variable que mejor representa la clase. También éstas aparecen asociadas a nebulosas. Un ejemplo típico de estas asociaciones se encuentra en el trapecio de Orión.

Asteroide. Se llaman asteroides o pequeños planetas algunas decenas de miles de fragmentos rocosos, cuyas dimensiones varían desde un pequeño peñasco hasta tener 1.000 km de diámetro, caracterizados por una superficie irregular y la ausencia de atmósfera. Alrededor del 95 % de estos cuerpos ocupa un espacio comprendido entre las órbitas de Marte y de Júpiter; sin embargo, algunos grupos orbitan cercanos al Sol, a Mercurio y otros se alejan hasta la órbita de Saturno. Se calcula que su masa total sea 1/2.500 con respecto a la de la Tierra, siendo comparable a Japeto, un satélite de Saturno. Las hipótesis sobre los orígenes de los asteroides son varias; sin embargo, las más aceptadas en la actualidad se reducen a dos: 1) que los fragmentos asteroidales son el resultado de la destrucción de un solo cuerpo celeste; 2) que una familia de un limitado número de asteroides, no más de unos cincuenta, se formó desde el origen del sistema solar, pero que en sucesivas y recíprocas colisiones se fueron multiplicando. El primer asteroide y el más grande es Ceres, de 1.000 km de diámetro, descubierto en 1801 por Giuseppe PIAZZI, director del observatorio astronómico de Palermo. Algunos años más tarde fueron descubiertos Palas Atenea, con un diámetro de 530 km (OLBERS, 1802); Juno, con un diámetro de 220 km (HARDING, 1804), y Vesta, con un diámetro de 530 km (OLBERS, 1807). Un gran impulso a

la clasificación de los asteroides fue dado por Max WOLF en 1891, con la introducción de la investigación sobre placas fotográficas. Hoy los asteroides clasificados son más de dos mil y existen dos grandes centros mundiales, uno en los Estados Unidos en Cincinnati (Ohio) y otro en la Unión Soviética en Leningrado, que se ocupan exclusivamente de su estudio. Según su posición orbital, los asteroides se subdividen en tres grupos: 1) el llamado cinturón principal, que está ocupado por el 95 % de todos los asteroides conocidos y se encuentra entre las órbitas de Marte y Júpiter, exactamente entre 2,2 y 3,3 UA del Sol. Aquí los asteroides más interiores tienen períodos orbitales de aproximadamente dos años, los más exteriores de seis años. En el interior de este cinturón existen vacíos denominados por los estudiosos "lagunas de Kirkwood" (llamadas así por el astrónomo que las observó por primera vez en 1866) y en las que no está en órbita ningún asteroide. Estas lagunas están causadas por la presencia cercana del planeta más grande del sistema solar, Júpiter, que tiene un período orbital de doce años. Cuando un asteroide ocupa una órbita que tiene un período similar al de Júpiter, es alejado por la fuerza gravitacional de este último. Las lagunas más llamativas se encuentran en correspondencia de órbitas con períodos de 4; 4,8; 5,9 años. 2) Los denominados pequeños planetas troyanos, que ocupan la misma órbita que Júpiter, precediéndolo o siguiéndolo en ella. A su vez, se subdividen en el llamado "grupo de Aquiles", formado por varios centenares de cuerpos que precede a Júpiter en aproximadamente 60, y en el "grupo de Patrolo", un poco menos numeroso, que sigue a Júpiter a 60 3) El grupo Apolo y Amor, formado por un millar de cuerpos en total y caracterizado por órbitas mucho más elípticas, que se extienden a los planetas interiores y que, por tanto, pueden, potencialmente, entrar en colisión con la Tierra. A este propósito, algunos astrónomos sostienen que varias catástrofes del pasado, como por ejemplo la extinción de los dinosaurios del Cretáceo-Terciario, hace 65 millones de años, fue causada por la caída en la Tierra de uno de estos asteroides, con un diámetro estimado de aproximadamente 10 km. Los objetos del grupo Apolo y Amor, sin embargo, según algunos estudiosos, no serían una derivación del grupo originario de los asteroides, sino núcleos de Cometas, carentes de la componente volátil y reducidos a orbitar entre los planetas interiores. La composición de los asteroides se establece por medio de métodos de análisis indirecto, gracias a la luz que ellos reflejan. Los resultados indican que, en su mayor parte, estos cuerpos celestes estarían compuestos de sustancias similares a los meteoritos, es decir, fragmentos de composición pétreo o ferrosa que se precipitan sobre la Tierra, provocando el espectacular fenómeno de las estrellas fugaces y que, a veces, logran ser recuperados. Los asteroides, como lo han indicado algunos astrónomos, podrían convertirse en el futuro en óptimas reservas de minerales valiosos que escasean en nuestro planeta. Por tanto, podrían ser ampliamente aprovechados en una futura colonización humana del sistema solar.

Astrobiología. En analogía con otras ramas de la astronomía como la astrofísica, la →*astrometría*, etc., recientemente se ha manifestado la necesidad de crear otra especialización, a la que se le ha dado el nombre de astrobiología, cuyo campo de investigación es la vida en el Universo, en el significado más amplio del término. Sinónimo de astrobiología es el término exobiología es decir, la biología del espacio exterior. Nosotros hemos preferido adoptar el primer término porque resulta más homogéneo con las definiciones de las otras especializaciones astronómicas. La vida

en la Tierra. Punto obligado de referencia de los estudios de astrobiología es la aparición de la vida en nuestro planeta. Partiendo de aquí, es posible determinar aquellos procesos químicos y bioquímicos que en la actualidad se piensa constituyen un episodio fundamental del ciclo de la evolución cósmica. Según las hipótesis más sólidas, el proceso que condujo a la presencia de vida en la Tierra se inició precozmente después de la formación de nuestro planeta, apenas lo permitieron las condiciones ambientales hace aproximadamente unos 4,5 mil millones de años. Los estudios de paleontología han puesto en evidencia restos de organismos primordiales en estado fósil, en rocas que se remontan a unos 3,5 mil millones de años. Por tanto, podemos suponer que el período de tiempo en que las primeras células vivas se organizaron a partir de la materia inanimada, fue efectivamente bastante breve con respecto a la edad de nuestro planeta. La opinión más consistente en la actualidad, aunque no carente de lagunas, ofrece el siguiente panorama de la aparición de la vida sobre la Tierra. Una atmósfera primordial a base de hidrógeno, amoníaco, metano y vapor de agua proporcionó, a través de las lluvias, los principales elementos para la formación de charcos en los cuales se llevaron a cabo las primeras síntesis orgánicas. En un segundo momento, fecundado por las radiaciones solares ultravioletas y por las descargas eléctricas, este "caldo primordial", como ha sido definido por algunos científicos, dio origen a cadenas de aminoácidos y proto-proteínas que representan las piezas fundamentales de la célula viva. Por último se llegó a la organización espontánea de la primera célula dotada de capacidad autoprodutiva. Tal vez el aspecto más fascinante de esta teoría es que, hasta cierto punto, ha sido comprobada experimentalmente. Desde 1952, fecha de un histórico experimento dirigido por el químico americano Stanley MILLER, es posible simular las condiciones de la atmósfera primordial y obtener, en el interior de un "caldo primordial" artificial, aminoácidos y otras estructuras complejas que presentan una afinidad estructural muy similar a aquellas de la célula viva. Sin embargo, hasta ahora no ha sido demostrado el proceso fundamental que conduce de los ingredientes base, a la célula auto-reproductora propiamente dicha. Los biólogos se justifican diciendo que para este paso fundamental no bastan las simulaciones en el laboratorio, siendo necesarios los largos períodos de evolución bioquímica. La evolución cósmica. Partiendo del principio que la vida puede nacer, afirmarse y evolucionar, por selección darwiniana, en una multiplicidad de especies diferentes, muchos estudiosos se dicen también convencidos que no hay razones plausibles para que este hecho se limite sólo a nuestro planeta. Los estudios más recientes en astrofísica han demostrado una sorprendente unidad genética y estructural de todo el Universo visible: estrellas, galaxias y materia cósmica se forman en todas partes obedeciendo a los mismos principios. Esto es válido tanto en la inmensidad del espacio, como en las profundidades del tiempo, ya que, como es sabido, cuanto más lejos extendemos nuestra mirada, más antiguos (hasta miles de millones de años) son los fenómenos que presenciemos. Tampoco nuestro sistema solar es una excepción. Muchos otros soles parecen poseer cortejos de planetas que, de manea similar a los nuestros, debieron formarse por fenómenos de condensación gravitacional en el interior de una nebulosa de gases y polvos. De las proximidades del sistema solar y de las lejanías estelares, continuamente llegan indicios de vida. Se han encontrado aminoácidos en el interior de meteoritos que cayeron en la Tierra. Han sido delimitadas moléculas orgánicas complejas y, tal vez, incluso estructuras bioquímicas fundamentales en las nubes de polvos interestelares distantes

centenares o millares de años luz. El proceso de evolución química, que la teoría del "caldo primordial" sugiere llegado a la Tierra, podría ser una parte de un ciclo de vida más amplio que penetra todo el Universo. Algunos estudiosos como F. HOYLE y C. WICKRAMSINGHE piensan, incluso, que la sede principal de este proceso está en las nubes de polvo interestelar y que la vida en estado elemental llega a los planetas a bordo de cometas para después evolucionar, en los ambientes más favorables, en una multiplicidad de especies, gracias sobre todo al continuo aporte de material genético desde el espacio, cuyo papel sería el de acelerar la clásica evolución postulada por Charles DARWIN. Civilizaciones evolucionadas. Según otros estudiosos, como el premio Nobel de medicina Francis Crick, la difusión de la vida en el Universo, y, por tanto, la presencia de vida en la Tierra, serían el resultado de experimentos de "pan-esperma pilotado" por parte de lejanas, y tal vez ahora ya extintas, especies evolucionadas. En otros términos, las civilizaciones estelares, con el fin de propagarse, enviarían hacia determinados planetas sondas espaciales conteniendo la materia genética de la cual, con el tiempo, se desarrollarían las diversas especies vivas. Dejemos de lado, de todos modos, estas fantásticas hipótesis que hemos mencionado como complemento. Lo que ciertamente hay son indicios que una gran cantidad de estrellas similares a nuestro Sol están rodeadas por planetas. Sólo en nuestra Galaxia, que contiene aproximadamente cuatrocientos mil millones de estrellas, aquellas que poseen sistemas planetarios serían alrededor de ciento treinta mil millones. En cada uno de estos sistemas, por lo menos un planeta podría presentar las condiciones ambientales adecuadas para albergar vida: han de estar en órbita en un intervalo de distancias de la estrella principal o "ecosfera", que asegure temperaturas medias compatibles con el metabolismo típico de los seres vivos. Estas consideraciones han sido las que han impulsado a algunos astrónomos hacia la búsqueda de señales emitidas por eventuales civilizaciones extraterrestres.

Astrófilo. Con este término se indica a un estudioso de la astronomía no profesional, que se dedica preferentemente a las observaciones celestes con la intención de colaborar con los astrónomos en determinados sectores de la vigilancia del cielo, o para satisfacer simplemente su propia pasión por la ciencia astronómica. Habitualmente, los astrófilos se reúnen en asociaciones locales o nacionales que elaboran programas colectivos de observación de zonas como: Sol, planetas, estrellas variables, ocultaciones lunares, cometas, meteoros, etc. Su equipo consta de Telescopios, astrocámaras, Fotómetros, instrumentos que en la actualidad han alcanzado un gran nivel de calidad, aun permaneciendo, lógicamente, muy por debajo de los existentes en los grandes observatorios astronómicos. Un instrumento típico del astrófilo es, por ejemplo, un telescopio reflector de 20 cm de diámetro, que puede utilizarse perfectamente tanto para las observaciones del Sol y de los planetas, como para el estudio de objetos débiles y lejanos como las estrellas, las galaxias, las nebulosas, etc. La contribución de los astrófilos a algunos sectores de la astronomía de observación es notable, y es solicitada y apreciada por los astrónomos profesionales. Bastará recordar que aproximadamente la mitad de los descubrimientos de cometas efectuados cada año es obra de los astrófilos, y que muchas otras investigaciones astronómicas, que exigen un paciente y constante trabajo de observación, son desarrolladas con éxito por ellos. Las asociaciones de astrófilos llevan a cabo también una labor de difusión de la astronomía entre el gran público, organizando actos culturales y observaciones colectivas; de esta manera

contribuyen a hacer conocer y a consolidar esa pasión por los estudios del cielo, que lleva a muchos jóvenes a las facultades de astronomía y de física. A partir de los años setenta se ha asistido a un auténtico "boom" de la afición por la astronomía, como testimonio el constante incremento en la venta de aparatos para la observación del cielo que a un permanente perfeccionamiento técnico, han agregado precios accesibles para un número cada vez mayor de personas.

Astrofísica. Rama muy sólida de la astronomía que estudia la naturaleza y la estructura física de los cuerpos celestes, tanto próximos como lejanos. La astrofísica nace con la observación, realizada a comienzos del siglo XIX por J. FRAUNHOFER (1787-1826) de que la luz del Sol, atravesando un Espectroscopio (aparato capaz de descomponer la luz en sus colores fundamentales), da lugar a un espectro continuo sobre el cual se superimprimen líneas verticales. Fue mérito de G. KIRCHOFF (1824-1887) descubrir que aquellas líneas eran la huella de algunos de los elementos químicos presentes en la atmósfera solar, por ejemplo el hidrógeno y el sodio. Este descubrimiento introdujo un nuevo método de análisis indirecto, que permite conocer la constitución química de las estrellas lejanas y clasificarlas. Otros medios de investigación fundamentales para la astrofísica son la Fotometría (medida de la intensidad de la luz emitida por los objetos celestes) y la Astrofotografía o fotografía astronómica. La astrofísica es una ciencia tanto experimental, en el sentido que se basa en observaciones, como teórica, porque formula hipótesis sobre situaciones físicas no directamente accesibles. Uno de los capítulos más importantes de la astrofísica moderna está constituido por el Sol. Hasta los años treinta, el mecanismo energético que alimenta a nuestra estrella era un misterio; en 1938, el físico Hans BETHE explicó los principales procesos de fusión nuclear que están en condiciones de alimentarse por largos períodos de tiempo el horno solar, como tantas otras estrellas. La moderna astrofísica ha logrado también explicar la estructura interna de nuestra estrella y la distribución de las temperaturas, que van desde veinte millones de grados en el centro, a seis mil grados en la superficie visible, para subir nuevamente a cuatro millones de grados en la atmósfera o corona solar. Sin embargo, aún queda sin explicar el llamado "ciclo de actividad oncenal", en virtud del cual las manchas y otros tipos de perturbaciones que se observan en los estratos más externos del Sol alcanzan un máximo de frecuencia, precisamente, cada once años. Otra gran zona de investigación de la astrofísica está constituida por el estudio de las características físicas de las Estrellas: dimensiones, masa, luminosidad, temperaturas y categoría espectral (tipo de espectro que muestra su luz); y por el estudio de la Evolución estelar. Entran aquí los estudios sobre las estrellas dobles (formadas por dos o más soles), sobre las novas y supernovas (estrellas que brillan de improviso lanzando grandes cantidades de energía y materia al espacio y aumentando su luminosidad) y sobre otras fuentes estelares aún poco conocidas como los pulsar (estrellas que laten) y los agujeros negros (estrellas que entraron en colapso). La astrofísica también estudia la composición y la estructura de la Materia interestelar, es decir de aquellas nubes de gases y polvos que ocupan amplias zonas del espacio y que en una época eran consideradas absolutamente vacías. Los métodos de investigación astrofísica son también aplicadas al estudio de los Planetas y cuerpos menores del sistema solar, de cuya composición y estructura, gracias a las investigaciones llevadas a cabo por satélites artificiales y sondas interplanetarias, se ha podido lograr, en estos últimos años, un cono-

cimiento más profundo, que en muchos casos ha permitido modificar convicciones muy antiguas. Una reciente y vigorosa rama de la astrofísica es la Radioastronomía: el estudio de la física de los objetos celestes por medio de la escucha de las ondas de radio naturales que ellos emiten. Debido a las metodologías substancialmente diferentes, la radioastronomía es considerada por algunos como una especialización de la astronomía, independiente de la astrofísica clásica.

Astrofotografía. La fotografía del cielo ha revestido, desde los primeros años de este siglo hasta hoy, un papel cada vez más importante en la investigación astronómica. Ofrece dos ventajas sustanciales con respecto a la observación visual: primero, da la posibilidad de fijar sobre la emulsión detalles del objeto observado que el astrónomo podrá después analizar en el laboratorio; segundo y más importante, permite percibir objetos invisibles al ojo humano. En efecto, colocando una película fotográfica en el foco primario de un telescopio, mientras sigue automáticamente el movimiento de los astros, es posible efectuar exposiciones de algunas horas, recogiendo pequeñas cantidades de luz procedentes de objetos muy débiles y lejanos, incluso los distantes millones de AL de la Tierra. Las primeras fotografías astronómicas fueron realizadas en 1840, poco después de inventarse la placa fotográfica, por el americano John W. DRAPER y tuvieron como tema la Luna. En 1842, el físico G. A. Majocchi fotografió el eclipse de Sol del 8 de julio. En 1958, el astrónomo aficionado inglés Warren de la Rue, inventó la fotoheliografía e inició la realización de una serie de fotografías diarias de las manchas y de las fáculas solares. Las estrellas, y en particular Vega, fueron fotografiadas por primera vez en 1850 en los Estados Unidos por W. C. BOND. En 1881, la fotografía es utilizada también para el análisis de los cometas y las nebulosas por G. HUGGINS y J. JANSSEN, primer director del Observatorio astrofísico de Meudon, próximo a Versalles. Otras aplicaciones de la fotografía astronómica han sido: la investigación de los asteroides iniciada en 1891 por Max WOLF, así como el estudio de las auroras polares, de la luz zodiacal, de las estrellas fugaces. Las emulsiones fotográficas presentaban, a comienzo de siglo, el inconveniente de ser impresionadas muy fuertemente por las radiaciones violetas, y muy débilmente por las rojas; además de esto, los telescopios refractores de larga distancia focal, difundidos en la época del advenimiento de la fotografía, tenían aberración cromática, por lo que delante de las emulsiones empleadas en ellos era imprescindible anteponer los adecuados filtros correctores de luz. Con el fin de reducir la aberración cromática, se construyeron más tarde objetivos compuestos de tres o cuatro lentes sin embargo, ni así era posible concentrar en un mismo foco todos los colores del espectro visible. En la actualidad, para la fotografía astronómica se utilizan con éxito los telescopios reflectores, que no tienen, aberración cromática, y en particular los tipos Schmidt y Ritchey-Cretienne. La fotografía en colores ha obtenido, en la investigación astronómica, resultados satisfactorios especialmente desde el punto de vista espectacular, aunque la lentitud de las emulsiones obligue aún a largas exposiciones. También la cinematografía está en continuo desarrollo, especialmente para el estudio del Sol. A partir de los años sesenta ha adquirido una notable importancia el método de la fotografía indirecta, que consiste en colocar en el foco primario del telescopio, además de la película habitual, un aparato electrónico capaz de convertir los impulsos luminosos en corriente eléctrica. Esta última, a su vez amplificada y revelada, es reconvertida en imagen.

Astrogeología. Es una nueva especialización científica impulsada por el extraordinario desarrollo de la Astronáutica. Así como la geología se ocupa de la estructura, composición y evolución de la Tierra, la astrogeología trata los mismos temas pero aplicados a los otros planetas del sistema solar. Hasta finales de la década de los cincuenta, las únicas informaciones sobre geología planetaria venían de las observaciones desde Tierra, y permitían tener una idea sólo aproximada de las características de las superficies de los planetas, de sus atmósferas, y de su interior. La astronáutica ha permitido efectuar primero observaciones desde más cerca, y a veces "in situ" con retransmisión de los datos. En el caso de la Luna se ha podido recoger material para ser analizado en los laboratorios terrestres. De esta manera ha sido posible trasladar a otros mundos las técnicas de investigación geológica, geofísica, sismológica, etc., utilizadas en la Tierra. Para la geología de los diversos cuerpos del sistema solar ver las voces de cada uno de los planetas: Mercurio, Venus, etc.

Astrógrafo. Es un Telescopio construido especialmente para fotografía astronómica. Puede tratarse de un reflector, o bien de un refractor. Sin embargo, por lo general, con el término astrógrafo se suele indicar un refractor fotográfico con una gran apertura, que es la relación entre la distancia focal del objetivo y su diámetro. El instrumento está provisto, en el sitio del ocular, de una película fotográfica cuyo plano de emulsión coincide con el plano focal del objetivo. Además está dotado de un objetivo acromático constituido por tres o cuatro lentes, que sirven para corregir las aberraciones cromáticas. Puede estar acompañado por un telescopio visual con el fin de controlar al astro que se fotografía durante la exposición.

Astrolabio. Es un antiguo instrumento astronómico ideado probablemente por los griegos y utilizado por los árabes, los persas y los europeos, como ayuda en la navegación hasta el siglo XVIII, época en la cual es sustituido, por el más preciso sextante. Está compuesto de las siguientes partes: un disco metálico que tiene grabada sobre el borde una circunferencia graduada de 0° a 360°; en una banda más interior, una circunferencia subdividida en las 24 horas del día; en la parte central, una proyección de la esfera celeste en un plano paralelo al ecuador. Un segundo disco, denominado red, superpuesto al primero, sirve como mapa de las estrellas más brillantes, ya que está provisto de varios índices cada uno de los cuales indica la posición de una estrella y el nombre correspondiente. Aún superpuesta a la red hay una lanceta, llamada regla, cuya extremidad se superpone a las escalas graduadas. En la parte posterior del instrumento hay una escala para medir los ángulos en grados y un brazo móvil para la señalización. Sujetando el astrolabio por el anillo, suspendido en posición vertical, y manipulando adecuadamente las diversas partes, pueden medirse la altura de las estrellas en el horizonte y la hora del lugar de observación. Los ejemplares más antiguos de astrolabios conservados en los diversos museos, se remontan al año 1000 y son de fabricación árabe.

Astrología. La astrología, definida como la "superstición erudita" que querría hacer depender a los hechos terrenales de los cielos, en la antigüedad era una mezcla de conocimientos astronómicos y elementos religiosos. Tuvo su origen algunos milenios antes de Jesucristo en Oriente y en particular en Mesopotamia, difundándose en Grecia a partir de Alejandro Magno. La filosofía griega, y especialmente la escuela pitagórica, con su temor reverencial por el

orden inmutable del cosmos, gobernado por precisas leyes matemáticas, preparó el terreno no sólo para un extraordinario desarrollo de la astronomía, sino también para el culto de los astros. Poco a poco todas las escuelas filosóficas griegas, a excepción del epicureísmo, fueron influenciadas por el sistema astrológico. Aun antes de la primera era imperial, la mística astrológica había penetrado en las religiones paganas y las divinidades griegas y romanas fueron sustituidas por el dios del Sol. Todos los emperadores, la buena sociedad, el pueblo, comenzaron a creer en el poder de las estrellas para determinar la vida humana o, por lo menos, para predecir su curso. En el segundo siglo a. J. C. se desataron furiosas polémicas para reconocer la validez de esta doctrina: los astrólogos encontraron bastantes dificultades para explicar las pretendidas bases científicas de sus prácticas, bases fácilmente sacudidas por elementales críticas fundadas en la razón. A pesar de ello muchos poetas y escritores sostuvieron la causa de la astrología, que conoció un verdadero triunfo con el astrónomo Claudio TOLOMEO 90-168 d. J.C. aprox.) quien, basándose en la física aristotélica, construyó una teoría astrológica que tenía la pretensión de ser rigurosamente científica. En los siglos XV y XVI el prestigio de la astrología continuó aumentando. La ciencia de la interpretación de los astros floreció en las universidades de Roma, Padua, Bolonia y París, a pesar de la oposición oficial del Cristianismo, que no logró combatir adecuadamente, ni rechazar totalmente las concepciones teóricas que constituían la base de la astrología. El propio Santo Tomás de Aquino estaba convencido que los astros tenían el poder de determinar, por lo menos, la estructura física, el sexo y el carácter del individuo. También el Humanismo reforzó el modo de pensar astrológico: REGIOMONTANO, COPÉRNICO, Tycho BRAHE, GALILEO, KEPLER fueron también expertos astrólogos. El Iluminismo, en cambio, degradó la astrología, calificándola como uno de los capítulos de la "historia de la estupidez humana". Hoy, sin querer liquidar con una definición tan categórica una doctrina que por siglos ha interesado incluso a mentes lúcidas, debemos sin embargo afirmar que la astrología como tradición religiosa no tiene ya ningún sentido, y como ciencia, hace tiempo que está muerta y sepultada. El hombre moderno no puede ser convencido del valor científico de una doctrina basada en una astronomía y en una cosmofísica superadas hace tres siglos Tampoco puede creer en la existencia de relaciones precisas e influjos entre los astros y nuestras acciones. Las superficiales y a menudo ridículas interpretaciones contemporáneas, han hecho perder hasta el sentido profundo que la astrología tenía en el mundo antiguo: que la Tierra no es otra cosa que una imagen y alegoría del cielo.

Astrometría. Es la especialización de la astronomía que estudia la posición de los astros en el cielo, con el fin de establecer las coordenadas celestes y sus variaciones en el tiempo y reconstruir los movimientos de las estrellas. Entre las aplicaciones de la astrometría está incluso el control de los movimientos de la Tierra. La astrometría, también llamada astronomía de posición, se diferencia netamente de otra especialización astronómica, la Astrofísica, ya que mientras la primera se ocupa de la posición de los cuerpos celestes, la segunda estudia la naturaleza física de los mismos. Las antiguas observaciones astronómicas fueron exclusivamente de carácter astrométrico: sirvieron para obtener, del estudio del movimiento de los astros, los primeros y burdos calendarios y los criterios de subdivisión del tiempo. La astrometría clásica nace con la recopilación de los catálogos estelares. El más famoso, realizado en la antigüedad,

es el de HIPARCO de Nicea (aprox. 190 a. J.C.-125 a. J.C.), que contenía las posiciones de 850 estrellas visibles a simple vista. Confrontando las variaciones de las posiciones estelares con respecto a las establecidas en los catálogos más antiguos, HIPARCO pudo medir la longitud del año solar con un error de pocos minutos, y darse cuenta que el eje de la Tierra está animado de un movimiento de Precesión, similar al realizado por el eje de una peonza que gira sobre sí misma. Los instrumentos utilizados en la antigüedad para la determinación de las posiciones estelares, eran el Astrolabio, la Esfera armilar, el Cuadrante, etc. Un astrónomo del Renacimiento que dedicó casi toda su vida a la astrometría fue Tycho BRAHE (1546-1601), quien construyó instrumentos de grandes dimensiones y muy precisos, aunque carentes de la parte óptica, ya que él vivió antes de la invención del antejo. Con estos instrumentos, Tycho pudo restablecer las posiciones estelares y planetarias y sus tablas fueron utilizadas por su ayudante Johannes KEPLER (1571-1630) para deducir las tres famosas leyes de los movimientos planetarios. Otros grandes de la astronomía fueron: James BRADLEY (1643-1762) descubridor de la *→aberración de la luz*; Friedrich BESSEL (1784-1846) que determinó por primera vez la distancia de una estrella con el método de la Paralaje; Friedrich W. A. Argelander (1799-1875) quien realizó el gran catálogo estelar "Bonner Durchmusterung", George Airy (1801-1892) que transformó el Observatorio de Greenwich en el mayor centro de estudios astrométricos de su época. La astrometría moderna se sirve de refinados "instrumentos de pasos" que, combinados con "relojes siderales", sirven para determinar con gran precisión el paso de una estrella por el meridiano y, por tanto, sus coordenadas. Las mediciones, repetidas en el tiempo, establecen las variaciones atribuibles bien a los movimientos de la Tierra, como la precesión, bien al Movimiento propio de las estrellas. Para determinar las coordenadas de los objetos más débiles, la astrometría utiliza métodos fotográficos e instrumentos que permiten medir las posiciones estelares directamente sobre la película. La medición de las distancias de objetos muy próximos entre sí y débiles, hasta el punto que los instrumentos corrientes de observación no alcanzan para distinguirlos, es realizada con técnicas de Interferometría óptica y radio.

Astronáutica. La astronáutica es la ciencia que estudia el vuelo en el espacio y sus innumerables aplicaciones. Es de reciente origen: nace hacia fines del siglo XIX, cuando algunos científicos comenzaron a estudiar teóricamente los principios y las posibilidades técnicas de los viajes en el espacio. Se considera como el fundador de la astronáutica al ruso Konstantin E. TSIOLKOVSKY (1857-1935), un maestro de escuela que desde joven se dedicó, como autodidacta, a los estudios de astronáutica y, más tarde, al vuelo espacial. Fue de los primeros en darse cuenta que el Cohete podía ser el único medio para superar la fuerza de gravedad y, a caballo de los dos siglos, se dedicó a estudiar las leyes matemáticas y físicas fundamentales en las que, todavía hoy, se basan los motores de cohetes. Otro pionero de las ciencias astronáuticas fue el alemán Hermann J. OBERTH (nacido en 1894) quien, en 1917, realizó un proyecto para un misil de combustible líquido y una docena de años más tarde, en su libro "El camino al viaje espacial", anticipó los principios de la propulsión iónica. TSIOLKOVSKY y OBERTH eran teóricos. Quien construyó el primer cohete con combustible líquido fue el americano Robert H. GODDARD (1882-1945). Su extraño artefacto, que parecía cualquier cosa menos un misil como se entiende hoy, voló el 16 de marzo de 1926 durante apenas 2,5 segundos, alcanzando

12,5 metros de altura. Más tarde, en los años que precedieron a la segunda guerra mundial, GODDARD perfeccionó su invento superando el kilómetro de altura y alcanzando velocidades supersónicas. Sin embargo el pionero más hábil de la astronáutica es, sin lugar a dudas, el ingeniero alemán Werner VON BRAUN (1912-1977). Entre los años 1937 y 1944 trabajó en el polígono militar de Peenemunde, en la costa del Báltico, diseñando y construyendo los famosos misiles "V 2" que fueron empleados en el bombardeo alemán a Inglaterra. Después de acabada la guerra continuó sus estudios y experimentos en los Estados Unidos dando vida a los misiles Redstone y Júpiter y, más tarde, al gigantesco Saturno, con el cual se pudo llevar a cabo el programa de desembarco en la Luna. La era de la astronáutica comenzó oficialmente el 4 de octubre de 1957 con el lanzamiento del primer Satélite artificial soviético Sputnik 1, y con la demostración práctica de que un objeto puede mantenerse en órbita terrestre. En los primeros años de esta nueva aventura del hombre, la primacía fue casi siempre soviética: el 2 de enero de 1959 la sonda automática "Luna 1" pasó a 6.000 km de nuestro satélite artificial y lo fotografió. El 4 de octubre del mismo año, el "Luna III" transmite las primeras imágenes de la cara oculta de la Luna. El 12 de abril de 1961, Juri GAGARIN (1934-1968) fue el primer hombre en orbitar alrededor de la Tierra. En junio de 1963, Valentina TERESHKOVA (nacida en 1937), se convirtió en la primera mujer del espacio. En aquellos años, los Estados Unidos desarrollaron experimentos mucho menos espectaculares, pero de gran valor científico y se debe precisamente a su pequeño primer satélite orbital, el Explorer, lanzado el 31 de enero de 1958, el descubrimiento de esas partículas cargadas que están interpoladas en el campo magnético terrestre y que reciben el nombre de cinturón de Van Allen. De aquellos años de pioneros no tan lejanos, a hoy, los progresos de la astronáutica han sido enormes, sobre todo en lo relativo al uso científico y tecnológico del espacio. La astronomía y la física espaciales han dado pasos gigantes, gracias a la posibilidad de confiar instrumentos de observación a las sondas espaciales. Muchas técnicas del siglo XX, como las telecomunicaciones, la meteorología, etc., han recibido un gran impulso debido a los Satélites adecuadamente diseñados y puestos en órbita. También las técnicas de vuelo espacial han experimentado innovaciones sustanciales con la introducción del Space Shuttle, que representa la primera astronave capaz de entrar en órbita terrestre y volver como un avión de línea. En el sector de los vuelos interplanetarios se han desarrollado técnicas de aprovechamiento de los campos gravitacionales de los planetas, abreviando considerablemente los tiempos requeridos por el vuelo inercial. En lo que respecta a las técnicas de propulsión, ahora ya están en una fase pre-aplicativa sistemas alternativos al motor de cohetes alimentado químicamente, como por ejemplo la propulsión a iones y la Vela solar. En cambio han registrado un desarrollo más lento de lo previsto en los albores de la astronáutica los grandes proyectos de exploración interplanetaria por parte del hombre, como por ejemplo el descenso en Marte, que Werner VON BRAUN daba como posible dentro del decenio de los ochenta. Hoy se considera que, por razones económicas, este paso debe postergarse hasta el siglo XXI. Sin embargo, parece probable que antes del año 2000, la astronáutica alcance la etapa de las estaciones orbitales en las que se alternan, sin solución de continuidad, grupos de astronautas. De esta manera, para estudiar todos los problemas biológicos y psíquicos relativos a la permanencia del hombre en el espacio, ha nacido una nueva especialización: la medicina espacial. Su logro más importante es el haber

demostrado que, aseguradas determinadas condiciones ambientales necesarias para proteger la estructura y las funciones del organismo humano, no existen objeciones de principio para que el hombre viva fuera de la Tierra.

Astronave. Es un vehículo destinado a los vuelos espaciales, en el que se trata de reproducir, aproximadamente, las condiciones en las que el hombre vive en la Tierra. Para sobrevivir y llevar a término las misiones espaciales, el hombre debe tener en las astronaves un buen nivel de seguridad y de confort ambiental. Durante cientos de miles de años, nuestro organismo ha estado acostumbrado a un conjunto de condiciones ambientales indispensables para su complejo equilibrio biológico: éstas comprenden no sólo el aire para respirar, sino también la adecuada temperatura, presión y humedad, la protección del frío, del calor, de la falta de peso y de las radiaciones nocivas. Además están los problemas del alimento, del agua y de la eliminación de los residuos orgánicos. El principal requisito para las cápsulas espaciales destinadas a vuelos humanos es el de reproducir, no las idénticas condiciones físicas de la atmósfera nivel del suelo, por lo menos una situación en la cual el hombre pueda adaptarse fácilmente. Habitualmente nosotros respiramos un aire compuesto por un 78 % de nitrógeno, un 21 % de oxígeno y un 1 % de otros gases, estando nuestro cuerpo sometido, al nivel del mar, a la presión de una atmósfera. Los experimentos de medicina espacial y las numerosas misiones efectuadas hasta ahora, han demostrado que los astronautas pueden adaptarse a condiciones sensiblemente diferentes. Los hombres del "Apolo", por ejemplo, han vivido durante muchos días en una atmósfera artificial de oxígeno puro a una presión de aproximadamente 1/3 de la existente en Tierra. Por otra parte, los soviéticos en sus "Soyuz", respiran una mezcla formada por nitrógeno y oxígeno en proporciones similares a las del aire que respiran en la Tierra, con una presión que es casi la mitad de la que hay a nivel del mar. En el "Space Shuttle" también los americanos han adoptado una atmósfera de nitrógeno (80 %) y oxígeno (20 %), a presiones terrestres. Los problemas de la temperatura y la humedad fisiológicas han sido resueltos con adecuados sistemas de acondicionamiento interno de la cabina. Sin embargo, para evitar que la gran diferencia térmica existente entre las partes externas de la astronave expuestas al Sol y las que están en sombra se transmita también al interior, se le imprime un movimiento rotatorio llamado de "barbacoa". Otra dificultad está constituida por la falta total de gravedad. Ciertamente ésta no provoca trastornos serios en la coordinación muscular y, en efecto, los astronautas logran manipular perfectamente los mandos manuales a bordo para llevar a cabo las maniobras necesarias. En cambio problemas más complejos surgen en lo relativo a la circulación de la sangre, porque en ausencia de gravedad no se produce el normal flujo de sangre hacia las extremidades. Ello se ha remediado con mallas especiales que ejercen diferentes presiones en los muslos, las piernas y el abdomen para facilitar la circulación. La falta de gravedad no trastorna la masticación, ni la deglución, ni la digestión de los alimentos. Es importante, sin embargo, controlar que eventuales residuos o gotas no dañen el equipo eléctrico de la astronave. Además, debido a que el peso del alimento necesario para una tripulación en cada misión sería excesivo (cada ser humano tiene necesidad de 1 kg de alimento y 2 kg de agua al día) se ha optado por el tratamiento de liofilización, que hace perder hasta los 9/10 el peso de alimentos de cualquier tipo. El agua para la rehidratación está disponible ya que es el producto secundario de las reacciones químicas entre los componentes del combustible

en el momento de la combustión. El inconveniente de los residuos orgánicos ha sido resuelto mediante incineradores: el óxido de carbono producido por las combustiones es transformado en dióxido de carbono y, por tanto, reciclado de modo que produzca pequeñas cantidades de oxígeno.

Astronomía. La astronomía es una, de las ciencias más antiguas. En los albores de la civilización, el hombre se dio cuenta que la repetición regular de los fenómenos celestes constituía el reloj natural de sus múltiples actividades: la jornada de labor se medía por la salida y la puesta del sol; el mes, por el ciclo lunar; las siembras, las cosechas y el trabajo agrícola en general eran regulados por la aproximación de las estaciones. En los pueblos antiguos, los astros se consideraban como divinidades y el estudio de sus posiciones resultaba esencial para determinar sus influencias sobre los acontecimientos, terrenales. Por este conjunto de razones la astronomía fue, en todas las civilizaciones del pasado, una ciencia tanto al servicio del poder civil como del religioso. La astronomía antigua. Los primeros testimonios de estudios astronómicos se remontan a los milenios IV y II a. J.C., y se refieren a los pueblos de la llamada "media luna fértil" (los territorios bañados por el Nilo, el Éufrates y el Tigris), a los chinos, los hindúes y a los habitantes de América Central. Los babilonios determinaron con gran precisión tanto el "mes sinódico" (el intervalo de tiempo entre dos fases iguales y sucesivas de la Luna), como el "período sinódico" de los planetas (el tiempo entre dos posiciones idénticas de un planeta con respecto a la Tierra). Su calendario se refería al movimiento de la Luna, por lo cual cada año estaba dividido en meses de 30 días. También se debe a los babilonios el descubrimiento del llamado "ciclo de Saros", es decir el período de 18 años transcurrido el cual se repiten los eclipses de Sol y de Luna. Por último, es de los babilonios gran parte de la nomenclatura de las constelaciones todavía hoy en uso. También los egipcios realizaron estudios de astronomía e introdujeron el calendario basado en el movimiento del Sol, así como también el de la Luna. El año de 365 días comenzaba cuando la estrella Sirio aparecía por primera vez en el crepúsculo matutino; este fenómeno coincidía con el comienzo de las crecidas primaverales del Nilo. Escrupulosos observadores de los fenómenos celestes fueron los chinos, quienes nos han dejado una abundante cantidad de crónicas astronómicas en las que se indican eclipses, aparición de nuevas estrellas, de cometas, etc. Esto, además de tener un indudable valor histórico, posee un enorme interés astronómico ya que permite a los estudiosos de hoy comparar fenómenos antiguos y recientes. También los Mayas y los Incas tenían buenos conocimientos astronómicos y estaban en condiciones de calcular con precisión los eclipses y los movimientos planetarios. En los siglos que antecedieron el comienzo de la era cristiana, Grecia se constituyó en el punto más importante de desarrollo de la astronomía. Aquí no sólo se perfeccionarán los conocimientos de los antiguos pueblos orientales, sino que además se empezará a determinar las dimensiones físicas de la Tierra, de la Luna y del Sol y a construir los primeros "sistemas del mundo" es decir las concepciones sobre las posiciones ocupadas por los diversos cuerpos celestes en el espacio y sobre la naturaleza de los movimientos. Uno de los más importantes de estos sistemas, elaborado por EUDOXIO de Cnido (408-355 a. J.C. aprox.), describe la Tierra como un cuerpo inmóvil en el centro del Universo, mientras los otros cuerpos celestes giran a su alrededor fijados a una serie de esferas "homocéntricas" (con el mismo centro). Este sistema fue adoptado por ARISTÓTELES (384-322 a. J.C.) que lo complicó con el agre-

gado de un mayor número de esferas. Gracias a la autoridad aristotélica, las concepciones geocéntricas (Tierra centro del Universo) resistieron hasta el Renacimiento. El gran filósofo proporcionó las primeras pruebas de que la Tierra es esférica no plana. Entre el siglo III a. J.C. y el II d. J.C., la astronomía conoció un período de florecimiento en la ciudad de Alejandría, gracias a cuatro grandes astrónomos: ARISTARCO de Samos (siglo III a. J.C.), ERATÓSTENES (280-200 a. J.C. aprox.), HIPARCO de Nicea (190-125 a. J.C. aprox.) y Claudio TOLOMEO (90-168 d. J.C. aprox.). ARISTARCO, además de haber medido con discreta aproximación las distancias de la Tierra al Sol y a La Luna y sus diámetros, anticipándose en 18 siglos a COPÉRNICO, sostuvo que el Sol era el centro del Universo y que los otros planetas giraban a su alrededor. Sin embargo su sistema del mundo no logró afirmarse. ERATÓSTENES determinó con buena precisión la circunferencia de la Tierra. A HIPARCO debemos un catálogo estelar en el cual se introducía el sistema de medición de la luminosidad aparente de los astros. Sin embargo, el astrónomo más grande fue TOLOMEO, que además de proponer un sistema geocéntrico diferente del aristotélico, que se impuso y fue aceptado hasta los tiempos de COPÉRNICO y GALILEO, nos ha dejado, una inmensa obra de trece volúmenes, el *Almagesto*, los conocimientos astronómicos griegos y alejandrinos. Después de TOLOMEO, y hasta el Renacimiento, la astronomía no registró grandes progresos. Los árabes fueron atentos recopiladores de catálogos estelares y efemérides planetarias y su mayor astrónomo, Al Battani o Albatenius (aprox. 858-929), discípulo de TOLOMEO, estableció con una mayor precisión las posiciones de los planetas. En el siglo XII España, que había experimentado influencia árabe, impulsó los estudios astronómicos bajo el rey Alfonso X se publicaron nuevas determinaciones sobre las posiciones planetarias conocidas con el nombre de *Tablas alfonsinas*. Dos de los más grandes observadores y recopiladores europeos fueron: G. PUERBACH (1423-1461) y su alumno J. MÜLLER (1436-1476), llamado REGIOMONTANO, considerándose a ambos como los fundadores de la astronomía alemana. La astronomía moderna. Entre los siglos XV y XVII. se lleva a cabo para la ciencia astronómica una verdadera revolución que conduce al restablecimiento de sus principios y al nacimiento de la astronomía moderna. Son artífices de este proceso una pléyade de astrónomos compuesta por Tycho BRAHE (1546-1601), Nikolaus KOPERNICUS (1473-1543), Galileo GALILEI (1564-1642), Johannes KEPLER (1571-1630), Isaac NEWTON, (1643-1727) y Edmund HALLEY (1656-1742). Tycho BRAHE, fue uno de los observadores más grandes de todos los tiempos. Aun sin disponer de instrumentos ópticos, llevó al máximo grado de precisión la determinación de las posiciones estelares planetarias realizadas a simple vista. Fue el primero en demostrar que los Cometas no son fenómenos atmosféricos sino cuerpos celestes, midiendo su distancia a la Tierra con el método de la Paralaje. En el siglo XVI surgió el hombre que por primera vez tuvo el valor de desmentir, después de siglos de autoridad indiscutida, el sistema geocéntrico: Nicolás COPÉRNICO que, en su principal obra "De revolutionibus orbium coelestium", volvió a proponer, 1800 años después de ARISTARCO, el sistema heliocéntrico. Si bien el modelo de COPÉRNICO no daba razón con exactitud de los movimientos aparentes de los astros, se constituyó sin embargo en la base para la revolución astronómica, que tuvo en Galileo GALILEI su más lúcido protagonista. Este último, desafiando el poder eclesiástico, fiel a las concepciones bíblicas, así como a la cultura de su tiempo, ligada a las enseñanzas de ARISTÓTELES y de TOLOMEO, demostró con sus descubrimientos y sus inventos que la

Tierra, como todos los otros planetas, gira alrededor del Sol, incurriendo con ello en los graves castigos que imponía la Inquisición. Además de esto, la contribución más grande de GALILEO a la astronomía fue la invención del telescopio, con el cual describió las características físicas del Sol y de la Luna y descubrió las fases de Venus y los satélites de Júpiter. Sin embargo le correspondió a un ayudante de Tycho, Johannes KEPLER, el mérito de descubrir, a través de la interpretación de observaciones planetarias efectuadas por su maestro, las tres leyes que regulan el movimiento de los planetas, aunque sin dar ninguna explicación física. Más tarde Isaac NEWTON, realizando una admirable síntesis entre la dinámica de GALILEO y las empíricas leyes keplerianas, explicó cual era la naturaleza de la fuerza que mueve a todos los cuerpos celestes: la Gravitación universal. También fue el inventor y constructor de un nuevo instrumento de observación, el telescopio de espejo o reflector. La principal obra de NEWTON, *Los principios matemáticos de la filosofía natural* (en el siglo XVIII por filosofía se entendía física), fue publicada a expensas de Edmund HALLEY quien, además de ser un mecenas y un admirador de NEWTON, fue un agudo observador; a él se le debe el descubrimiento de la periodicidad de los cometas y una precisa descripción de sus órbitas. Con NEWTON y su época nace la mecánica celeste, esa especialización astronómica que estudia los movimientos de los cuerpos en el espacio. Los más grandes estudiosos de esta materia en el siglo XVIII fueron: L. EULER (1707-1783), K. F. GAUSS (1777-1855), A. C. CLAIRAUT (1713-1765), P. S. DE LAPLACE (1749-1827), G. LAGRANGE (1736-1813). En el mismo período en el que se consolidaban las bases teóricas de la astronomía moderna, se lograron también sustanciales innovaciones en la instrumentación. A mediados del siglo XVIII, el inglés J. DOLLOND (1706-1761) perfeccionó el telescopio de lente o refractor, con la introducción de la lente Acromática. Más tarde, Wilhelm HERSCHEL (1738-1822) realizó los reflectores más grandes de su época (hasta 122 cm de diámetro); a comienzos del siglo XIX, Josep FRAUNHOFER (1787-1826) inventó el Espectroscopio que, permitiendo el estudio de la composición de los astros a través del análisis de sus luces, inició esa nueva zona de estudios astronómicos que toma el nombre de Astrofísica. El desarrollo paralelo de los estudios teóricos y de los instrumentos de observación llevó al descubrimiento de Urano (el séptimo planeta después de Saturno) por parte de HERSCHEL en 1781; del primer Asteroide Ceres, por parte del padre G. PIAZZI en 1801; y de Neptuno (octavo planeta) en 1846. Este último fue localizado por J. G. GALLE en base a los cálculos efectuados por U. LEVERRIER y J. C. ADAMS, que habían previsto su existencia por el estudio de las anomalías del movimiento de Urano. La astronomía contemporánea. Hacia mediados del siglo XIX, después de la primera medición de la distancia de una estrella, efectuada por el astrónomo alemán F. W. BESSEL (1784-1846) con el método de la Paralaje, comenzaron los estudios de la estructura de nuestra Galaxia, es decir del sistema de estrellas al que pertenece el Sol. En épocas más recientes las medidas sobre la distribución de las estrellas en nuestra y otras galaxias lejanas, se han beneficiado de otros métodos como la Espectroscopia, el estudio de las Cefeidas, también llamadas piedras miliars del Universo, y la Radioastronomía. Mientras tanto, la instrumentación astronómica en tierra ha adquirido, con los grandes reflectores de Monte Palomar (USA), 508 cm, y de Selenciuskaia (URSS), 610 cm, el máximo de las aperturas telescópicas compatibles con la existencia de la atmósfera. En estos años se proyecta la puesta en órbita de un reflector de 2,5 m llamado Space-telescope que, más allá de las interferencias

atmosféricas, permitirá ver diez veces más lejos. Uno de los logros más importantes de nuestro siglo se debe al astrónomo americano Edwin P. HUBBLE (1889-1953), que en 1929 descubrió el denominado Desplazamiento hacia el rojo de las galaxias lejanas, es decir: el fenómeno por el cual las líneas espectrales de un cuerpo celeste hacen descender sus frecuencias más bajas (y por tanto hacia el rojo) como consecuencia de su alejamiento con respecto al observador. Esto demuestra que la materia del Universo está aún en fase de expansión. Si se pudiera "proyectar hacia atrás" el film de la evolución del Universo, se vería que en un determinado momento la materia estaba concentrada en un punto. Este momento se remonta a quince-dieciocho mil millones de años y el acontecimiento que dio origen a la expansión, definido por los astrónomos como Big Bang (gran explosión), representa el nacimiento de nuestro Universo. La búsqueda de pruebas posteriores de esta concepción cosmológica alimenta los estudios de la astronomía contemporánea. Entre otras cosas, se han abierto nuevos y estimulantes temas de investigación como consecuencia del descubrimiento de la importancia que tienen en la evolución cósmica, acontecimientos violentos y explosivos: nos referimos en particular a los Agujeros negros y a los objetos más luminosos del Universo, los Quasars.

Atlas. Es un transportador americano de dos secciones: pesa más de 120 toneladas, su longitud total es de 25,14 m, el diámetro correspondiente a su sección intermedia es de 3 m, la velocidad máxima 29.000 km/h. Nace en 1956 como misil balístico intercontinental (en siglas ICBM, de Intercontinental Ballistic Missile) y, después de algunas modificaciones, fue utilizado como transportador de lanzamiento en el "Proyecto Mercury" que realizó, el 20 de febrero de 1962, el primer vuelo humano de los Estados Unidos sobre una órbita terrestre. Otra misión como cohete para investigaciones no militares ha sido la realizada en el ámbito del "Proyecto Score": el "Atlas", lanzado el 18 de diciembre de 1958, puso en órbita una carga de 3.970 kg, de los cuales 68 eran de instrumentos. El satélite "Score" llevaba la grabación en cinta magnética de un mensaje del entonces presidente de los Estados Unidos, Eisenhower: por primera vez, la voz humana fue transmitida a la Tierra desde el espacio. El satélite "Score", que puede ser considerado como un prototipo de los satélites para telecomunicaciones, duró aproximadamente un mes: se desintegró encima de la isla de Midway, en el Pacífico, el día 21 de enero de 1959. El primer ensayo en vuelo del "Atlas" como transportador espacial fue realizado con éxito en 1958. Sin embargo fue seguido de cinco explosiones producidas inmediatamente después del despegue, durante otras tantas pruebas de lanzamiento. Después de la eliminación de algunos defectos, el misil pudo ser declarado operativo. Todavía es utilizado en los Estados Unidos para el lanzamiento de satélites y de sondas espaciales, unido al "Centaurus" o al "Agena" como secciones superiores.

Atmósfera. Es la envoltura gaseosa que rodea a un planeta o a cualquier otro cuerpo celeste. En el sistema solar están dotados de atmósfera todos los planetas, con la particularidad de Mercurio que no posee una muy sólida. Están desprovistos de ella, o casi, los satélites naturalmente como la Luna, y por completo los asteroides pequeños planetas que, a causa de su pequeña masa y de la débil fuerza de atracción, no han sido capaces de retener las partículas gaseosas. También el Sol posee su atmósfera, llamada cromosfera. Para las características de las atmósferas de los diversos cuerpos. La formación de la atmósfera terrestre primitiva se

debió a la intensa actividad endógena (erupciones volcánicas y fenómenos similares) que siguió a la formación de la costra sólida de nuestro planeta. Otra contribución pudo haber correspondido también a la caída sobre la Tierra de cuerpos formados por materiales volátiles como los cometas. Se considera que la composición de la atmósfera primordial fuera de dióxido de carbono (CO₂), óxido de carbono (CO) y nitrógeno (N). La sucesiva disociación de estos elementos y la actividad biológica de las primeras plantas habrían llevado a la formación de la atmósfera actual, compuesta por un 78 % de nitrógeno, un 21 % de oxígeno y 1 % de otros elementos menores. Se calcula que la atmósfera terrestre tiene una masa total de un millonésimo con respecto a la de nuestro planeta. El peso del aire que nos rodea determina la Presión atmosférica a la cual estamos sometidos y que, a nivel del mar, es de 1 kg/cm², o bien de 760 mm de mercurio. Subiendo de altura, esta presión obviamente disminuye, así como disminuye la densidad atmosférica, es decir, el número de partículas contenidas por unidad de volumen, lo que determina un enrarecimiento del aire, mientras la composición química permanece substancialmente inalterada. La atmósfera se suele dividir, según sus características físicas, en cuatro capas principales. Troposfera, de 0 a 11 km (aunque el límite superior es más bajo en los polos y más alto en el Ecuador). Es la capa en la que se desarrollan todos los fenómenos meteorológicos más importantes: formación y condensación del vapor de agua, nubes, precipitaciones, descargas eléctricas, etc. Las temperaturas disminuyen con la altura al ritmo medio de 7 C por km, hasta llegar a alrededor de -60 en la capa más alta llamada tropopausa Estratosfera, de 11 a 80 km. Contiene solo pequeñas cantidades de vapor acuoso que dan lugar al fenómeno denominado de las "nubes noche-lucientes" a 20 km y más de altura. Está recorrida por corrientes en chorros que alcanzan una velocidad de 160 km/h. La disociación y la recombinación del oxígeno provocan, a unos 50 km, la formación de una capa de ozono (O₃) que tiene el poder de absorber las radiaciones ultravioletas letales para los seres vivos. Aquí las temperaturas se elevan hasta 0 a causa de la absorción ultravioleta. Ionosfera, de 80 a 500 km. Se llama así porque las moléculas de aire están en parte ionizadas, es decir reducidas a partículas cargadas positivas y negativas que se reúnen en capas indicadas con las letras D, E, F1, y F2. Estos estratos revisten una importancia práctica porque tienen el poder de reflejar las ondas cortas de radio y, por lo tanto, permitir su propagación por reflexión de un continente a otro. En la ionosfera, como consecuencia de fenómenos de excitación corpuscular, se producen espectaculares Auroras polares. Desde el punto de vista térmico, en la ionosfera se registra un nuevo descenso de la temperatura hasta -1000 C, a unos 90 km, en la llamada mesosfera; después se produce un incremento hasta miles de grados en la superior termosfera. Exosfera, más allá de los 500 km. Estamos en las regiones más enrarecidas de la atmósfera donde las moléculas de aire se escapan fácilmente al espacio exterior. A estas alturas vuelan los numerosos satélites artificiales puestos en órbita por el hombre.

Átomo. Es la partícula más pequeña de un elemento que conserva las características químicas del propio elemento. Está constituido por un núcleo formado por protones (partículas positivas) y neutrones (neutros), rodeado por una o más órbitas de electrones (partículas negativas). En condiciones de estabilidad el número de los electrones es igual al de los protones, de manera que el átomo es electrónicamente neutro. Las características químicas de un elemento dependen del número y de la disposición de los electrones

en las diversas órbitas de electrones, de modo que puede decirse que el átomo está compuesto, substancialmente, por espacios vacíos. La masa del átomo reside casi toda en el núcleo: cada electrón es apenas 1/1.840 con respecto a la masa de un protón o de un neutrón (protones y neutrones tienen igual masa). El número de protones en el núcleo es llamado número atómico; el de los neutrones y protones conjuntamente, número de masa. El hidrógeno, el elemento más simple, constituido por un protón en el núcleo y un electrón externo, tiene número atómico y masa = 1, lo que se indica con la correspondiente nomenclatura. El helio, el segundo elemento, está formado por dos protones y dos neutrones en el núcleo y dos electrones externos. Cuando dos átomos tienen igual número de protones, y pertenecen por lo tanto al mismo elemento químico, pero un número diferente de neutrones, y por lo tanto un número diferente de masa, son llamados isótopos. Ejemplos: el deuterio, isótopo del hidrógeno, formado por un protón y un neutrón en el núcleo y un electrón externo; el tritio, otro isótopo del hidrógeno formado por un protón y dos neutrones en el núcleo dos electrones externos. Los elementos existentes en la naturaleza son 92, del hidrógeno al uranio y por lo tanto el número máximo de protones que se encuentran en un núcleo es 92. Sin embargo, en el laboratorio se han construido átomos de elementos artificiales con más de 100 protones en el núcleo.

ATS (satélites). Satélites americanos utilizados para aplicaciones tecnológicas en las comunicaciones, para la observación de los recursos terrestres, en la meteorología, y en navegación. Han tenido importantes empleos en el campo social, sanitario y educativo, contribuyendo a elevar las condiciones de vida de muchos pueblos. El ATS 6, el último de la serie, era un satélite de retransmisiones en directo, dotado de una antena de 9 metros y de un potente repetidor de señales de TV. Fue lanzado por la NASA el 30 de mayo de 1974 y quedó en órbita Geostacionaria sobre las islas Galápagos permaneciendo en este punto por un año, durante el cual puso en comunicación a los grandes centros urbanos estadounidenses con las regiones más apartadas del país. Transcurrido este periodo, el satélite fue colocado sobre África oriental (sobre la vertical del lago Victoria) para desarrollar un programa de telecomunicaciones: sirvió para retransmitir a unos 5.000 pueblos indígenas, una serie de programas relativos a la higiene, la agricultura y la seguridad de la población de las regiones rurales. Fue nuevamente puesto en la posición inicial para continuar el experimento en los Estados Unidos y particularmente en Alaska, donde es utilizado para diagnósticos médicos a distancia y programas pedagógicos. Al tener una órbita muy alta (36.000 km), estos satélites han sido utilizados también como medio de conexión entre otros satélites y la Tierra: el ATS 6 retransmitió a tierra las imágenes de la famosa misión conjunta soviético-americana, Apollo-Soyuz de 1975. En el campo de la observación de la Tierra, los ATS, han proporcionado espléndidas imágenes que han permitido profundizar en los conocimientos de nuestro planeta.

Aurora polar. Espectacular fenómeno de la alta Atmósfera provocado por el impacto de partículas atómicas cargadas, provenientes del Sol (electrones y protones) contra las capas de la ionosfera a aproximadamente 100 km de altura. Estas partículas estimulan los átomos y las moléculas de la ionosfera, provocando el fenómeno de la Luminiscencia. Como las partículas tienden a moverse a lo largo de las líneas del campo magnético terrestre, hacia los polos magnéticos, las auroras son apreciadas al máximo en las regiones polares,

de donde surge el nombre de auroras boreales (las que se manifiestan en el Polo Norte) y auroras australes (las del Polo Sur); de manera más general: auroras polares. Se presentan como una luminiscencia variopinta en el cielo nocturno, que adquiere las formas de banderas, arcos, coronas, etc. El fenómeno tiene duración variable desde algunos minutos a algunas horas. Se ha constatado que las auroras son más frecuentes alrededor de los máximos del ciclo periódico de actividad del Sol. La luminosidad de las auroras es clasificada en cuatro grados, de los cuales el máximo se compara con la luminosidad de la Luna y decrece con la distancia desde los polos magnéticos. Los colores, visibles sólo en el cuarto grado, son: verde, violeta, rojo y amarillo.

Ausencia de peso. Es una condición física que se determina cuando un sistema se mueve en caída libre, sin resistencias externas. Un ejemplo clásico es el caso del ascensor: el peso del cuerpo humano, es decir, la fuerza ejercida sobre el piso de la cabina se anularía si esta última se precipitara y el desventurado tendría la sensación de no tener peso, encontrándose en estado de imponderabilidad. Una situación de este tipo se produce, por ejemplo, en una astronave que gira en órbita alrededor de la Tierra. Esta, como es sabido, está sujeta a la fuerza de gravedad terrestre, pero animada también por una aceleración centrífuga que contrarresta exactamente la fuerza de gravedad, haciendo que el cuerpo no caiga hacia la Tierra ni se escape hacia el espacio exterior. El resultado de este equilibrio es precisamente lo que se llama caída libre en el espacio alrededor de nuestro planeta. En estas circunstancias, un hombre que se encuentre en el interior de la astronave no advierte ni la fuerza de gravedad ni la aceleración centrífuga, y experimenta la condición de ausencia de peso o bien de cero g ($g =$ gravedad), como también se suele llamar para diferenciarla de la condición de $1 g$ que, por convención, es atribuida a la gravedad que soportamos a nivel del suelo. Una condición de cero g puede también crearse artificialmente en la Tierra en el interior de un avión en vuelo parabólico: a este método se recurre para el adiestramiento de los astronautas antes de su bautismo espacial. La ausencia prolongada de gravedad provoca trastornos en la circulación, en el aparato digestivo y en la musculatura. En las futuras estaciones espaciales en órbita, habitadas permanentemente por el hombre, se piensa obviar los problemas de la ausencia de peso, creando una gravedad artificial que puede obtenerse, con un movimiento rotatorio de velocidad adecuada, alrededor del eje de la propia estación, ya que la estación tendrá la forma de una rueda con una circunferencia exterior destinada a alojamiento.

B

BAADE, Walter. 1893-1960 Astrónomo alemán al que se deben importantes descubrimientos en el ámbito de la evolución estelar y de las distancias intergalácticas. Estudiando la galaxia de Andrómeda con el telescopio de 2,5 m de Mount Wilson en California (USA), al comienzo de los años 40, logró efectuar las primeras fotografías de estrellas existentes en las regiones centrales de aquella galaxia que, como es sabido, es muy similar a la nuestra. Así descubrió que las estrellas en el núcleo galáctico son rojas, mientras que las que se encuentran en la periferia, en los brazos en forma de espiral de la galaxia, son azules. Llamó a estas últimas estrellas de la Población I, y a las rojas estrellas de la Población II. Se trata de una diferencia evolutiva importante debido a que distingue las estrellas jóvenes de las maduras. BAADE determinó también la verdadera distancia de la Galaxia de Andrómeda, que llega a 2 millones de AL y que, con anterioridad, había sido sumamente subestimada, ampliando de esta manera la escala de las distancias entre las galaxias y, por lo tanto, las ideas sobre las efectivas dimensiones del Universo.

Baikonur (o Baykonur). Nombre del polígono de lanzamiento espacial o cosmódromo, como suelen decir los soviéticos, más importante de la URSS. Se encuentra próximo a la ciudad de Tyuratam, no lejos del lago Aral, a unos 2.100 km al sudeste de Moscú. Su origen se remonta a mediados de la década de los 50, cuando los soviéticos comenzaron a experimentar con sus grandes misiles balísticos intercontinentales (ICBM), los que poco tiempo después se convirtieron en los cohetes con los cuales se daría comienzo a la era espacial. La primera instalación en Baikonur, considerado como un lugar ideal porque se halla bastante alejado de los ojos indiscretos de las bases militares estadounidenses en Turquía, se alza para efectuar las pruebas de lanzamientos de los ICBN R-7, que más tarde se indicaron con la sigla A. El polígono se extiende sobre una superficie mucho más grande que el Centro espacial de Cabo Cañaveral en Florida. Tiene la forma de una Y, con decenas de rampas de lanzamiento para las diversas misiones espaciales, rodeadas de silos donde se encuentran los cohetes, y por los edificios que albergan las salas de control, los laboratorios y el personal. En la cercana ciudad de Leninsk, se encuentra el gran Hotel de los Cosmonautas.

Baily, Francis. 1774-1844 Astrónomo inglés cuyo nombre está unido al fenómeno conocido como granos de Baily, que son puntos luminosos con apariencia de diamantes, visibles durante el eclipse de Sol; esto es debido a que el disco de la Luna, en tales circunstancias, no cubre exactamente el disco solar, dejando filtrar alrededor de su circunferencia brillos de luz. Se dedicó también a una actividad que comprendía el estudio y la difusión en el mundo anglosajón de muchas obras clásicas de astronomía, como los catálogos estelares de Tycho BRAHE, Hevelius y FLAMSTEED.

Baricentro. El baricentro o centro de masa de un sistema formado, por ejemplo, por dos masas M_1 y M_2 unidas a la extremidades de un eje, es el punto de equilibrio de propio

sistema. Se trata de dos cuerpos celestes, unidos por la fuerza de gravedad, que rotan el uno alrededor del otro: el baricentro coincide con el centro de rotación. Si los dos cuerpos tienen igual masa, el baricentro cae exactamente en la mitad de la recta que une a los dos cuerpos. Si tienen masa diferente, el baricentro está desplazado hacia el cuerpo de mayor masa. En el caso del sistema Tierra-Luna, debido a que nuestro planeta es 81 veces más pesado que su satélite natural, la diferencia de masa es tal que el baricentro cae en el interior de la propia Tierra.

BARNARD, Edward Emerson. 1857-1923 Modesto fotógrafo americano que se dedicó a los estudios de astronomía por su pasión hacia los cometas, de los cuales inició una sistemática investigación a los veintitrés años. Está considerado como el decano de los buscadores americanos de cometas: descubrió 19 de ellos, utilizando sus conocimientos de la técnica fotográfica. Después de haberse convertido en astrónomo del Lick Observatory de Mount Hamilton, Sta. Clara (California), descubrió en 1892 Amaltea, el quinto satélite de Júpiter. En 1889, comenzó a fotografiar detalladamente la Vía Láctea, demostrando que las regiones oscuras no son verdaderos vacíos, sino que están determinados por la presencia de gases y polvo que absorben la luz de las estrellas más alejadas. Fruto de este trabajo fue su Atlas fotográfico de zonas escogidas de la Vía Láctea, publicación póstuma de 1927. En 1892-93 también descubrió, con el refractor de 36 pulgadas (91 cm) del observatorio de Lick, los cráteres de Marte, observando además detalles del planeta nunca antes advertidos por los astrónomos Giovanni SCHIAPARELLI y Percival LOWELL. Sin embargo, ni siquiera estas observaciones fueron publicadas cuando aún vivía. Su nombre es famoso sobre todo por el descubrimiento de una estrella que se aproxima rápidamente al Sol, precisamente llamada estrella de Barnard.

Barnard (estrella de). Después de α Centauro, es la estrella más cercana al Sol: 5,9 AL. Desde el momento que se mueve hacia nosotros a la velocidad aproximada de 110 km/s, se calcula que dentro de unos 10.000 años se acercará hasta 3,8 AL, convirtiéndose en la más cercana de todas. Se encuentra en la constelación del Serpentario, tiene una magnitud estelar de $9^m,5$ y pertenece a ese tipo de estrellas denominadas enanas rojas. Fue descubierta por E. E. BARNARD en 1916 y, precisamente por su rapidísimo movimiento, ha sido llamada estrella proyectil. Se calcula, concretamente, que en 170 años se desplaza en la órbita celeste en un trecho equivalente a la órbita de la Luna. Estudios recientes han puesto en evidencia un pequeñísimo movimiento oscilatorio de la estrella de Barnard, que algunos astrónomos atribuyen a la existencia de dos planetas de dimensiones jupiterianas que están en órbita a su alrededor. Debido a las distancias, ni siquiera los más grandes telescopios terrestres están en condiciones de captar estos dos eventuales planetas. Se piensa que el Space Telescope, puesto en órbita hace unos años, podrá dar una respuesta al problema de los hipotéticos planetas extrasolares. La estrella de Barnard posee el Movimiento propio más grande hasta ahora revela-

do, es decir, el mayor desplazamiento en el espacio con relación al Sol.

BESSEL, Friedrich Wilhelm. 1784-1846. Estudiante alemán ligado a la astronomía por su interés hacia la navegación marítima: se sirvió de los cálculos astronómicos para el exacto conocimiento del punto nave. A comienzos del siglo XIX el Rey de Prusia le encargó supervisar los trabajos en el Observatorio de Konigsberg, en el que estuvo como director hasta su muerte. Su interés por el cielo fue enciclopédico, habiéndose ocupado de muchos temas de la astronomía clásica tanto de observación como teóricos. Sin embargo, su nombre permanece unido a las determinaciones de las primeras distancias estelares. Hasta 1838 no se tenía la mínima idea de la distancia de las estrellas; ese año, midiendo la paralaje de la estrella 61 Cygni, estableció su distancia valorándola en 10,3 AL. Las estimaciones más recientes son de 11,2 AL por lo que el trabajo de BESSEL puede considerarse de notable valor, si se tienen en cuenta las limitaciones instrumentales de la época. BESSEL también midió las coordenadas de más de 50 mil estrellas y de muchas calculó el llamado Movimiento propio, es decir, ese desplazamiento con respecto al Sol como consecuencia del movimiento de las estrellas en el interior de nuestra Galaxia. Éste, debido a las grandes distancias interestelares, es determinable como una minúscula variación de las coordenadas, apreciable mediante observaciones separadas por largos intervalos de tiempo. También se debe a BESSEL el descubrimiento de que alrededor de Sirio y Prócion, giran pequeñas estrellas. El no las vio, pero se dio cuenta de su existencia por las pequeñas irregularidades que notó en los movimientos propios de estas dos grandes estrellas. Más tarde su hipótesis fue confirmada: los astrónomos han podido establecer que Sirio y Prócion tienen, cada una, una pequeña compañera enana blanca.

BETHE, Hans Albrecht. Físico alemán, nacido en 1906 y Premio Nobel 1967 por sus estudios sobre los procesos nucleares que preceden a la generación de energía en las estrellas. Hacia finales de los años 30 llegó a formular dos procesos de fusión del hidrógeno en helio, acompañados de la liberación de grandes cantidades de energía que se piensa alimentan el hogar de muchas otras estrellas. El primer proceso se denomina ciclo carbono-nitrógeno o ciclo Bethe-Weizsacker (porque también fue formulado, independientemente, por el físico alemán C. F. VON WEIZSACKER; el segundo se llama ciclo protón-protón).

Beta Lacertae. Nombre con el cual se indican objetos estelares muy luminosos, pero cuya emisión de luz varía irregularmente en el tiempo. Hasta los años 60 eran considerados estrellas variables pertenecientes a nuestra Galaxia; sucesivamente se ha descubierto que sus distancias son del orden de mil millones AL, más allá de nuestro disco galáctico cuyo diámetro, recordémoslo, es equivalente a unos 100.000 AL, aproximadamente. En lo relativo a su naturaleza, se piensa que los objetos β Lacertae, están emparentados con los Quásar, los objetos más luminosos del Universo, y que, como ellos, sean núcleos de galaxias muy brillantes, tanto como para superar la luminosidad de cualquier otra estrella vecina. El nombre de objetos β Lacertae, o Lacertidos, deriva de la estrella prototipo del grupo, que es precisamente la β en la constelación del Lagarto.

Big Bang. Con este término, ahora ya utilizado corrientemente, se indica el acto de nacimiento del Universo, según una

teoría hoy ampliamente aceptada. El Big-Bang, literalmente gran estallido, no fue una explosión como las que nos son familiares que, partiendo del centro se propagan hacia la periferia, sino una explosión que se produjo simultáneamente en todo el espacio y después de la cual cada partícula de materia comenzó a alejarse muy rápidamente una de otra. Los físicos teóricos han logrado reconstruir esta cronología de los hechos a partir de un 1/100 de segundo después del Big Bang. La materia lanzada en todas las direcciones por la explosión primordial está constituida exclusivamente por partículas elementales: Electrones (partículas con carga negativa y pequeña masa) Positrones (anti-electrones con carga positiva), Neutrinos (partículas carentes de carga y tal vez incluso de masa, o con una masa muy pequeña). Fotones (partículas con masa cero y carga cero, portadoras de la luz) y además muy pocas partículas elementales más pesadas que las anteriores, como los Protones (positivos) y los Neutrones (neutros). La temperatura en este universo de partículas es de cien mil millones de Kelvin, es decir, mucho más alta que la hoy existente en el centro de las estrellas. La densidad de esta mezcla es equivalente a $4 \cdot 10^9$ veces la del agua. A causa de la rapidísima expansión, la temperatura desciende treinta mil millones de Kelvin. Desde el punto de vista cualitativo el contenido del Universo queda inmutado: por todas partes, enjambres de partículas elementales. La temperatura del Universo desciende hasta diez mil millones de Kelvin, aún demasiado alta para que neutrones y protones puedan unirse establemente formando núcleos atómicos. La temperatura desciende en otro orden de magnitudes. El termómetro marca ahora (tres mil millones de Kelvin). Electrones y positrones, es decir, partículas y antipartículas relativas, comienzan a desaparecer rápidamente debido al fenómeno de la aniquilación. La temperatura ha descendido a mil millones de Kelvin, alrededor de setenta veces más alta que la existente en el interior del Sol. Esto hace posible la combinación de protones y neutrones, que da lugar a la formación de núcleos complejos a partir del hidrógeno pesado o deuterio, que está formado precisamente por un protón y un neutrón. A su vez, estos núcleos livianos se funden rápidamente en núcleos de helio, formados por dos protones y dos neutrones.

Blink (microscopio). Es un instrumento con el cual se examinan las películas fotográficas del cielo. Apoyando el ojo sobre el ocular se ven en rápida sucesión dos películas, tomadas en épocas diferentes, de la misma región celeste. Si en una de las dos estuviera presente un objeto nuevo -una estrella nueva, un cometa, un asteroide- éste se verá como un punto intermitente. Algo semejante sucede también si, en lugar de un objeto completamente nuevo, hubiera una variación de luminosidad o posición de una estrella.

Bode-Titius (ley de). Desde la antigüedad, astrónomos y matemáticos se preguntaban si las distancias de los planetas al Sol obedecían a un orden. PITÁGORAS (siglo VI a J.C.) estaba convencido que existía una armonía en el espacio entre las esferas planetarias, así como existe una entre las cuerdas de una lira. Entre los siglos XVI y XVIII algunos astrónomos alemanes efectuaron estudios para verificar si las distancias de los planetas al Sol, que en aquella época ya se conocían con buena precisión, respetaban efectivamente esta presunta ley matemática formulada, como hemos dicho, desde la antigüedad. Después de algunos resultados de J. KEPLER (1571-1630) y E. KANT (1724-1804), juzgados relativamente insatisfactorios, correspondió a Johann Daniel TIETZ de Wittenberg (1729-1796), conocido con el nombre latino de Titius, establecer una fórmula empírica de la cual

se pueden sacar las distancias de los planetas al Sol. $d = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n$ donde d es la distancia en UA y n un número de la sucesión: $-\infty, 0, 1, 2, 3, \dots$. Comenzando el cálculo con $n = -\infty$ y siguiendo en el orden con los otros valores de n , se obtienen resultados que proporcionan las distancias de los planetas al Sol a partir, obviamente, del más próximo, Mercurio, como puede apreciarse en la tabla anterior. En 1766, cuando Titius formuló su ley, no se conocía aún ni el cinturón de los asteroides, ni los planetas más allá de Saturno. El descubrimiento de Urano en 1781 y de Ceres, el más grande de los asteroides, en 1801, vinieron a llenar los vacíos de la sucesión. La imperfecta correspondencia entre las distancias efectivas de Neptuno y Plutón y las indicadas en la tabla de Titius, es interpretada por algunos como una prueba de que las órbitas originales de estos dos cuerpos fueron perturbadas por acontecimientos todavía no determinados. La ley de Titius habría pasado casi inadvertida si no hubiera sido difundida por el astrónomo alemán Johann BODE (1774-1826), por lo cual se desarrolló la costumbre de definirla como la ley de Bode-Titius, aunque algunos incluso hablan simplemente de la ley de Bode, olvidando, de forma un poco injusta, a su legítimo descubridor.

Bólido. Es un Meteoro con un tamaño de algunos cm que, penetrando en la atmósfera, se quema alcanzando notables magnitudes aparentes (-5^m) y convirtiéndose, por lo tanto, en un objeto celeste más luminoso que Venus en su máximo esplendor y, en algunos casos, tan brillante como la misma Luna. El rápido sobrecalentamiento producido por el rozamiento atmosférico provoca una explosión y una fragmentación del bólido, algunas de cuyas partes pueden llegar a la superficie del suelo antes de desintegrarse completamente y ser recuperadas por los estudiosos.

Bolómetro. Es un instrumento utilizado para recoger y medir la radiación emitida por un objeto en todas las longitudes de onda. En la práctica, la radiación a medir se hace caer en un "detector" provocando un aumento de temperatura que hace variar la resistencia eléctrica de un circuito, el cual, a su vez, está conectado con un instrumento de lectura. Con un aparato de este tipo es posible determinar la llamada magnitud bolométrica de una estrella, es decir: su luminosidad no sólo en la luz visible, sino a lo largo de todas las radiaciones, visibles o no, emitidas por ella. Es utilizado para estudiar las cantidades de energía irradiada por una fuente celeste. La forma típica del bolómetro comprende dos bandas ennegrecidas de láminas de platino muy finas, que forman dos puntos de un puente de Wheatstone; pero sólo uno se expone a las radiaciones. El inventor de este instrumento fue el astrónomo americano Samuel P. LANGLEY en 1878, con el cual estudió la radiación infrarroja del Sol.

Bolsas de carbón. Se trata de nebulosas oscuras formadas por grandes cantidades de polvos y gases, así llamadas porque absorben la luz de las estrellas que se encuentran detrás de aquéllas, a lo largo de nuestro campo visual; por este motivo aparecen como manchas negras sobre el fondo del cielo estrellado. La bolsa de carbón más conocida está en el cielo austral, cerca de la Cruz del Sur. En realidad, se trata de un cúmulo de polvos y gases con una masa cien veces mayor que el Sol y situada en el interior de nuestra Galaxia a unos 400 AL de nosotros. Otra bolsa de carbón similar es visible, en el hemisferio norte, en la constelación del Cisne. Desde el punto de vista de su composición, la brillante nebulosa de Orión no es diferente a una bolsa de carbón: la diferencia estriba en que esta última brilla porque

en el medio del cúmulo de polvo y gases se encuentra una estrella que ilumina el conjunto. Las nebulosas de este tipo son consideradas por los astrónomos como el lugar donde nacen, por fenómenos de agregación de materia, estrellas que rodean a los planetas, pero nuestros instrumentos de observación no son aún tan potentes como para poder seguir acontecimientos de este tipo.

Booster. Es un término perteneciente al lenguaje astronáutico americano (booster = lanzador), con el que se indica la primera sección de un misil. Sin embargo, a veces, con "booster" se suele indicar incluso a todo el misil. Con el término de "strap on boosters" se denomina a los cohetes auxiliares que en ocasiones son anexados al fuselaje de la primera sección para aumentar la potencia de empuje.

BRAHE, Tycho. 1546-1601 Astrónomo danés, considerado como el más grande observador del periodo anterior a la invención del telescopio e innovador en los estudios astronómicos. Nacido de familia noble, de carácter intrépido, e intolerante de las convenciones sociales, tuvo una vida muy aventurera: viajó mucho, prosiguiendo siempre los estudios de astronomía que había comenzado siendo joven, después de haber quedado muy impresionado con el eclipse solar de 1560. En 1565, a causa de una diferencia de opinión con otro estudiante por un problema matemático, se batió en duelo y quedó mutilado de la nariz, debiendo llevar el resto de su vida una postiza de oro, plata y cera. Gozaba del favor del rey de Dinamarca Federico I quien, en 1576, le cedió la pequeña isla de Hven, en el estrecho de Sund, hoy territorio sueco. Aquí, Tycho hizo construir el observatorio más grande de su época, al que llamó Uraniborg, es decir, "ciudad del cielo", al que dotó de monumentales y perfeccionados instrumentos, algunos de los cuales fueron ideados por él mismo: cuadrantes murales, sextantes, esferas armilares, escuadras y gnomones con gigantescas escalas graduadas para obtener la mejor precisión entonces posible en la determinación de las coordenadas celestes y de las otras medidas astronómicas. En 1572 una estrella muy luminosa apareció en la constelación de Casiopea, alcanzando la luminosidad de Júpiter y después se fue apagando lentamente, aunque permaneciendo visible hasta marzo de 1574. Tycho la observó durante un año y medio, tratando de calcular con sus instrumentos y conocimientos la distancia con el método de la paralaje. El astrónomo se dio cuenta que la estrella nova carecía de paralaje, lo que equivalía a admitir que se encontraba a una distancia infinita, o sea que pertenecía a la esfera de las estrellas fijas. Tycho publicó los resultados de su trabajo en el tratado *De nova stella*, que data de 1573, provocando con él una verdadera revolución en el campo de las creencias astronómicas: por primera vez se demostró que las esferas superlunares no eran en absoluto inmutables, contrariamente a la opinión de ARISTÓTELES. En 1588, el astrónomo desmintió, no con simples disertaciones, sino con pruebas basadas en sus observaciones y medidas, otra teoría que en aquel tiempo era universalmente aceptada: la de la naturaleza atmosférica de los cometas. Siguió con sus instrumentos al cometa aparecido el 13 de noviembre de 1577, midió su paralaje y, por lo tanto, la distancia, y concluyó que se encontraba a aproximadamente 230 radios terrestres, es decir, más allá de la Luna, que está a 60 radios terrestres. Las observaciones fueron recogidas en el volumen *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis* ("De los fenómenos más recientes del mundo etéreo"), que puede considerarse como el primer tratado científico sobre los cometas. Tycho rechazó el sistema copernicano no por ignorancia, sino por coherencia con sus observaciones.

El razonó de esta manera: si la Tierra girara a lo largo de una órbita alrededor del Sol, como pensaba COPÉRNICO, el observador debería notar un desplazamiento anual (paralaje) en las posiciones de las estrellas fijas. Como Tycho nunca pudo medir ese desplazamiento, se convenció de que COPÉRNICO estaba en un error. El razonamiento de Tycho era inaceptable: fue la insuficiente precisión de sus instrumentos lo que no le permitió apreciar la pequeña paralaje de las estrellas. Por otra parte, tampoco la vieja concepción aristotélicotolomeica, que ponía a la Tierra inmóvil en el centro del Universo, le convencía completamente; así, elaboró una propia, que constituyó un compromiso entre la vieja y la nueva, y en la que la Tierra quedaba en el centro del Universo, pero los planetas, en lugar de girar alrededor de la Tierra, lo hacían alrededor del Sol. Después de la muerte del rey de Dinamarca, acaecida en 1588, a causa de disputas con el nuevo soberano abandonó la isla de Hven y se instaló en el castillo de Benatky, próximo a Praga, convirtiéndose en matemático oficial del emperador Rodolfo II. Aquí se le une en 1600 el joven J. KEPLER, con el cual tuvo una fructífera colaboración en los últimos años de su vida. Al morir dejó a KEPLER las observaciones realizadas a lo largo de años y años de estudio, con la esperanza de que éste pudiera demostrar su teoría del Universo. KEPLER se sirvió de los trabajos de Tycho para formular sus famosas leyes sobre los movimientos planetarios, que, en cambio, sirvieron como confirmación de la teoría de COPÉRNICO sobre el sistema solar.

Buscador. Pequeño antejojo de amplio campo visual, utilizado para facilitar la dirección de un potente telescopio. Está montado en paralelo sobre el eje principal del telescopio y dispone de una retícula, habitualmente constituida por dos hilos cruzados. El astro a observar es primeramente ubicado con el buscador, de forma que la imagen de éste caiga sobre la retícula, de esta manera, si el eje del buscador es perfectamente paralelo al del telescopio, la imagen deberá aparecer al mismo tiempo en el ocular del propio telescopio.

Byurakan (observatorio). Uno de los observatorios más importantes de la Unión Soviética, dotado, entre otras cosas, con un reflector de 260 cm. Se encuentra en Armenia, cerca de la ciudad de Yerevan y fue fundado en 1946 por Viktor AMBARTSUMIAN, uno de los más célebres astrónomos soviéticos.

C

Cabo Cañaveral. Desde el año 1950 es el sinónimo de las actividades espaciales de los Estados Unidos. Desde el punto de vista geográfico es un estrecho promontorio que se extiende sobre el océano Atlántico, en la costa de la Florida. Su actividad como base de lanzamiento para misiles comenzó el 24 de julio de 1950 experimentando con cohetes "V 2" modificados. El lugar era ideal porque los lanzamientos se realizaban en dirección Este y los misiles podían así ser seguidos con facilidad en su ascenso y caer en el mar sin causar ningún daño. En la actualidad, aquel promontorio arenoso está salpicado de decenas de rampas de lanzamiento y cuenta con una tupida red de carreteras que le unen con los diversos laboratorios y centros de control. El área está controlada en parte por la NASA, el organismo espacial americano que se ocupa de los programas espaciales civiles, y en parte por la US Air Force, que organiza los militares. En 1964 toda la zona es rebautizada Cabo Kennedy, en honor del presidente americano John F. Kennedy asesinado el año anterior. Sin embargo, diez años después, como consecuencia de múltiples protestas, fue nuevamente denominado Cabo Cañaveral y el nombre de Kennedy sólo quedó para el centro espacial de la NASA. El corazón de las actividades espaciales americanas está constituido por el llamado VAB, iniciales de Vehicle Assembly Building, un gigantesco edificio de forma cúbica que se levanta en Merrit Island, a pocos kilómetros del promontorio de Cabo Cañaveral. Aquí se han unido los componentes del gigantesco Saturno, el misil de tres secciones que ha llevado a los primeros hombres a la Luna. Aquí son "ensamblados", como se dice con un neologismo derivado del lenguaje técnico, los Space-Shuttle, las primeras aeronaves reutilizables capaces de descender como los aviones sobre pistas en tierra firme. Los misiles que inician su camino en Cabo Cañaveral vuelan en dirección Sur-Este, sobre el Atlántico, y son seguidos por las estaciones de telemediciones de la Air Force, instaladas tanto en islas como en naves y aviones. Todos los datos convergen en el Johnson Space Center de Houston en Texas que, desde el año 1965, es el centro de control de las más importantes misiones espaciales americanas.

Calendario. Del latín *calendae*, término con el cual los romanos indicaban el primer día de cada mes. Es un conjunto de tablas en las que se indican los días y los meses de cada año y sirve para el cálculo del tiempo. Desde la antigüedad, los periodos en los que está subdividido el calendario se han referido al movimiento de los astros y, según cuál era el astro que se consideraba como elemento principal de referencia, se propusieron varios tipos de calendario. El calendario actualmente en vigor, llamado solar, que ha sido adoptado en la mayoría de los países del mundo, se basa en el movimiento de revolución de la Tierra alrededor del Sol y su duración está definida por el llamado año trópico o civil, es decir, el tiempo transcurrido entre dos pasos sucesivos del Sol por el Equinoccio de primavera. Comienza el 1 de enero, nueve días después del Solsticio de invierno (22 de diciembre), y consta de 12 meses. El calendario lunar, creado por los babilonios y hoy todavía en uso entre los mahometanos, se basa en cambio en el año subdividido en doce meses lunares, de veintinueve y treinta días alternativamente. El calendario lunisolar, adoptado por los pueblos

hebreos, hace referencia a los movimientos tanto del Sol como de la Luna y está compuesto de "años corrientes", divididos en 12 lunaciones y "años embolismales", divididos en 13 lunaciones. Nuestro calendario solar fue adoptado en 1582, como consecuencia de la reforma realizada por el papa GREGORIO XIII sobre la base de los cálculos de los astrónomos Luis LILIO y Cristóbal CLAVIUS. La reforma se hizo necesaria debido a la errónea longitud (365,25 días) del año en el calendario en vigor hasta ese momento. Este era el conocido como Juliano, del nombre de Julio César que lo había instituido en el 46 a. J.C., y había hecho anticipar la fecha del comienzo de la primavera del 21 al 11 de marzo y con ello se había desplazado también la repetición periódica de Pascuas. GREGORIO XIII decidió que al 4 de octubre de 1582 siguiera el 15 de octubre, para corregir el desfase de diez días entre el año astronómico y el civil que se había establecido en el curso de los siglos; además estableció que el nuevo calendario tomase como unidad de medida el año trópico.

Calisto. Es el segundo satélite en tamaño de Júpiter, después de Ganímedes. Tiene un diámetro de 4.820 km veces el de la Luna, una masa de aproximadamente 10^{23} kg (1,5 veces la de la Luna), dista un promedio de 1.880.000 km del planeta y orbita a su alrededor con un periodo de dieciséis días, dieciséis horas treinta y dos minutos. Es uno de los cuatro satélites galileanos (Io, Europa, Ganímedes y Calisto, en orden de distancia desde Júpiter), llamados así porque los descubrió Galileo GALILEI. Después de las imperfectas observaciones realizadas desde la Tierra, Calisto, como los otros satélites jupiterianos, ha sido observado de cerca por las dos sondas americanas "Voyager 1", en marzo de 1979, "Voyager 2", en julio del mismo año. Se ha captado de él una imagen de un mundo "lunar" carente de atmósfera, pero con una superficie helada y mucho más densamente cubierta de cráteres que nuestra Luna. Su densidad es un poco superior a la del agua: $1,8 \text{ g/cm}^3$. Se piensa que bajo la superficie helada haya un "manto" caracterizado por agua en estado líquido y por un núcleo de materiales más densos.

Cáncer. Es una de las 12 constelaciones del Zodiaco, la cuarta, en la cual el Sol alcanzaba, hace dos mil años, su máxima altura al norte del Ecuador (alrededor de 23° y 27°) en el día del Solsticio de verano (21 de junio).

Cangrejo (nebulosa del). En 1054, en la constelación de Tauro se encendió de improviso una estrella que antes no existía. En poco tiempo alcanzó una magnitud de -5^m , más luminosa que el planeta Venus en su máximo esplendor, y permaneció visible durante casi un mes en pleno día. El hecho fue considerado tan extraordinario que los astrónomos de la época, en particular los chinos, que eran atentos observadores de los fenómenos celestes, lo registraron en sus tablas.

Canopo. Es la segunda estrella más luminosa del cielo: $-0,7^m$. Se encuentra en la constelación de la Quilla, dista de nosotros 110 AL y es 25 veces más grande que el Sol.

Capricornio. Es una de las 12 constelaciones del Zodiaco, la décima, en la que el Sol alcanzaba, hace dos mil años, su

máxima altura al sur del Ecuador (alrededor de -23° y $27'$) en el día del Solsticio de Invierno (22 de diciembre) → *Trópico de Capricornio*.

Carbono (ciclo del). Es un proceso de fusión termonuclear que tiene lugar en el Sol y en otras estrellas y conduce a la transformación de hidrógeno en helio, acompañada de la liberación de grandes cantidades de energía. (→ *Sol*).

Cartografía de las estrellas. Los mapas celestes son una ayuda indispensable para conocer la posición de una estrella en el cielo. Para conocer las cartas estelares se imagina que todas las estrellas estén en una esfera ideal, de radio infinito, teniendo el centro coincidente con el de nuestro planeta, y que se suele llamar "esfera celeste". También la representación cartográfica del cielo sigue las reglas de la terrestre planetaria. A la esfera celeste se le asigna un sistema de Coordenadas celestes de manera que cada posición ocupada por una estrella esté definida por dos coordenadas -en general, se unen la ascensión recta y la declinación-, así como cualquier punto de la superficie terrestre está definida por dos coordenadas: longitud y latitud. También para los mapas estelares se utilizan proyecciones estereográficas o de Mercator, según se deben representar las zonas polares o las ecuatoriales de la esfera celeste: en los atlas más precisos, toda la esfera celeste es subdividida en numerosas zonas que después son ampliadas y reproducidas, precisamente, sobre la superficie plana de la hoja. Con esta técnica, se reducen al mínimo las deformaciones de los ángulos.

Cartografía de los planetas. La exploración de cerca de los planetas y de los satélites del sistema solar ha proporcionado imágenes tan detalladas que permiten la elaboración de mapas similares a aquellos con los que se representa la superficie de la Tierra. Ha nacido así la cartografía del sistema solar, que utiliza los mismos métodos de la cartografía terrestre. Los planetas son representados recurriendo a diferentes tipos de "proyecciones geográficas". La proyección estereográfica, utilizada para representar las áreas polares de un planeta, se obtiene disponiendo un plano ideal tangente al Polo del planeta y proyectando sobre él los detalles geográficos del área solar, utilizando como centro de proyección el polo opuesto. La proyección cilíndrica de Mercator, utilizada para representar las regiones próximas al Ecuador de un planeta, se obtiene imaginando insertar en un cilindro de papel el propio planeta, de manera que su ecuador coincida con la circunferencia del cilindro; utilizar como centro de proyección el centro del planeta; y, por último, desenrollar el cilindro que se transformará en un rectángulo de papel plano, con la reproducción de toda el área ecuatorial del planeta. La proyección cónica de Lambert, utilizada para representar las zonas intermedias entre los polos y el ecuador, se obtiene insertando el planeta dentro de un cono, de manera que sea tangente al paralelo de la zona que se va a representar, utilizando como centro de proyección el centro del planeta. Obviamente, para todos estos tipos de proyección, la reproducción será fiel en las zonas de tangencia e imperfecta a medida que uno se va alejando de ella.

Cassegrain. Es un tipo de telescopio reflector caracterizado por dos espejos: el principal o primario, cóncavo, recoge la luz del objeto observado y la refleja sobre un espejo secundario, convexo. Este último, a su vez, envía hacia atrás la imagen hasta un agujero existente en el centro del espejo primario, una vez traspasado el cual la imagen es ampliada

por un ocular. Este esquema, que se puede considerar como una evolución del telescopio reflector newtoniano, fue inventado en 1672 por el físico francés N. Cassegrain. Telescopios de tipo Cassegrain están en funcionamiento en algunos de los observatorios astronómicos más importantes del mundo. En tamaño más reducido, es utilizado habitualmente por los astrónomos aficionados de todo el mundo. Para una comparación entre las diversas características de los telescopios, tanto reflectores como refractores, → *Telescopio*.

CASSINI, Gian Domenico. (1625-1712) Famoso astrónomo italiano cuyo nombre está principalmente unido a la llamada división de Cassini, pero CASSINI a quien también se deben otros importantes descubrimientos. Con sólo veinticinco años de edad le fue confiada la cátedra de Astronomía de la Universidad de Bolonia. En esta ciudad, en la catedral de S. Petronio, hizo trazar el inmenso cuadrante que atraviesa oblicuamente el suelo de la iglesia, por medio del cual corrigió las tablas del movimiento del Sol. En 1665 descubrió el movimiento de rotación de Júpiter alrededor de su propio eje y midió su duración. Al año siguiente procedió del mismo modo con Marte. En 1668 elaboró las tablas de los movimientos de los cuatro satélites de Júpiter descubiertos por GALILEO, que después sirvieron a Olaf ROEMER (1644-1710) para el cálculo de la velocidad de la luz. Invitado por el ministro francés Colbert, se trasladó en 1669 a París para dirigir allí el nuevo Observatorio Astronómico. Aquí descubrió, en el periodo de trece años, cuatro satélites de Saturno: Japeto, Rhea, Tetis y Dione, bautizados por él como "Ludovici" en honor del "Rey Sol"; y en 1675, como ya se ha recordado, la división del anillo de Saturno que lleva su nombre. Observó durante varios años, junto con su discípulo Fatio, la Luz zodiacal y por primera vez, en 1683, puso de relieve su naturaleza extraterrestre y no meteorológica. Comparando las observaciones realizadas sobre las posiciones del planeta Marte por Richter en Cayena, con las suyas efectuadas en París, es decir a 10.000 km de distancia, logró calcular, con una precisión jamás alcanzada hasta entonces, la distancia de Marte a la Tierra. También se dedicó a una nueva y precisa determinación de las distancias de los otros planetas al Sol. Murió ciego, probablemente debido a los largos años dedicados a la observación del cielo, después de haber dictado su autobiografía. Su hijo Giacomo, llamado CASSINI II, le sucedió en la dirección del Observatorio y después de él su sobrino Cesare Francesco (CASSINI III), y por último su sobrino-nieto Giacomo Domenico (CASSINI IV), que fue el último de la ilustre dinastía de astrónomos.

Catadióptrico (sistema). Es un sistema óptico que utiliza una combinación de espejos y lentes con el fin de mejorar la calidad de la imagen. Los primeros intentos de realizar sistemas catadióptricos fueron llevados a cabo a comienzos del siglo XX, sin embargo el primer resultado satisfactorio se debe a Bernhard SCHMIDT (1879-1935), que en 1930 introdujo una placa correctora en un telescopio reflector, obteniendo así un campo visual mucho más amplio y exento de aberraciones. Los telescopios de este tipo o Schmidt, como son llamados, tienen una amplia utilización en astrofotografía. Otro sistema catadióptrico ha sido desarrollado en 1944 por el soviético Dimitri Maksutov (1896-1964). Los esquemas de los sistemas catadióptricos están tratados detalladamente en la voz Telescopio.

Catálogos estelares. Los catálogos estelares son listas que contienen las posiciones de los astros y pueden ser comple-

tados por planos con la configuración de las estrellas sobre la esfera celeste. El más antiguo catálogo conocido se remonta al año 130 a. J.C. y se debe a HIPARCO de Nicea (190 a. J.C. aprox. -125 a. J.C.). En él se hacía referencia a unas 850 estrellas de las más luminosas y por primera vez se introdujo la subdivisión en clases de magnitudes estelares según la luminosidad aparente. Lamentablemente esta obra se ha perdido y sólo tenemos testimonios indirectos de ella, pero se considera que un sucesivo catálogo de TOLOMEO (90-168 d. J.C. aproximadamente), publicado alrededor del 150 d. J.C. en el *Almagesto*, retoma el trabajo de HIPARCO. Los sucesivos catálogos recopilados en la Edad Media se basan en el tolemeico y será preciso esperar el advenimiento del astrónomo más importante de la era pretelescopica, Tycho BRAHE, para tener un sustancial mejoramiento de calidad en la medición de las coordenadas estelares. En 1700, John FLAMSTEED (1646-1719) trabajó asiduamente en su *Historia coelestis britannica*, que contiene las posiciones de 2.935 estrellas, que representa el primer catálogo recopilado con la ayuda de un telescopio. Sobre esta base se llevó a cabo una recopilación de mapas, conocida con el nombre de *Atlas Coelestis*. Sin embargo, el primer catálogo moderno importante, conteniendo objetos hasta la décima magnitud, es el *Bonner Durchmusterung* (literalmente: Reseña de Bonn), completado en 1862 por W. F. Argelander (1799-1875). En él se presentan las coordenadas de unas 324.198 estrellas del hemisferio Norte. La reseña después fue ampliada por Edward Schonfeld hasta el Trópico de Capricornio y, más tarde, un grupo de astrónomos argentinos la completó con las estrellas del Polo Sur celeste. A partir de mediados del siglo XVIII se han recopilado también catálogos especiales que contienen las posiciones estelares determinadas con métodos de alta precisión, por medio de los denominados instrumentos meridianos. Su finalidad es la de establecer las variaciones en el tiempo de las posiciones de cada una de las estrellas, y por lo tanto su Movimiento propio. Los primeros catálogos de este tipo fueron realizados por James BRADLEY (1693-1762) y por el alemán Friedrich W. BESSEL (1784-1846). Las estrellas variables son clasificadas en reseñas separadas: el Catálogo general de las estrellas variables recoge unas 25.000. Las nebulosas, las galaxias y los cúmulos estelares vienen indicados con la letra M, o bien con las siglas NGC, seguidas de un número. El primero de estos símbolos se refiere al astrónomo francés Charles Messier (1730-1817), quien, hacia finales del siglo XVIII recopiló un catálogo con nebulosas, galaxias y cúmulos estelares hasta un total de 45, visibles en el hemisferio Norte. A finales del siglo XIX Johannes DREYER (1852-1926) realizó un catálogo de 7.840 objetos, basándose, sin embargo, también en observaciones realizadas con anterioridad por HERSCHEL padre e hijo. Recibió el nombre de *New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars* o, más brevemente, NGC. Por lo tanto, resulta frecuente encontrar en los textos de astronomía que, por ejemplo, la nebulosa del Cangrejo se indica con M 1, porque se trata del primer objeto clasificado en el catálogo Messier, o bien NGC 1952, porque es el 1952 objeto del catálogo elaborado por DREYER.

Cefeidas. Son un tipo especial de estrellas variables que cambian su luminosidad cíclicamente, en tiempos comprendidos entre 1 y 50 días. Su nombre deriva de "delta Cefei", que es la primera estrella de este tipo, descubierta en 1784 por el astrónomo aficionado inglés John GOODRICKE. Su estructura física es la de las estrellas gigantes, hasta 10 veces el Sol, de color amarillo. Estas se encuentran tanto en nuestra Galaxia, donde están preferentemente situadas en

los brazos de la espiral, como en otras. La importancia de las Cefeidas es enorme para la determinación de las distancias estelares: han sido bautizadas como las piedras miliarec del Universo. En efecto, existe una relación muy precisa entre la variación cíclica de la luminosidad de una Cefeida y su luminosidad intrínseca, o Magnitud absoluta, y, cuanto más largo es este ciclo, más luminosa es la estrella. Por otra parte, los astrónomos, midiendo la magnitud aparente o visual de una estrella y conociendo la que tiene como absoluta, pueden determinar su distancia. De este modo, cada Cefeida representa un verdadero indicador de distancias.

Celostato. Es un espejo plano montado sobre un eje paralelo al eje de rotación terrestre y movido por un mecanismo de relojería, de tal forma que siga al Sol en su movimiento diurno aparente. La imagen del Sol, recogida por el celostato, es enviada hacia un segundo espejo plano, que tiene como función reflejarla en la misma dirección. El instrumento permite disponer, a lo largo del trayecto óptico de los rayos, lentes e instrumentos de análisis de la luz solar que permanezcan fijos. El celostato se encuentra, habitualmente, debajo de una cúpula giratoria en el vértice de un telescopio vertical, también llamado Torre solar.

Cenit. Es el punto de la esfera celeste situado en la vertical del observador.

Centaur (misil). Misil de hidrógeno líquido, utilizado como sección superior en combinación con otros cohetes. Con una longitud de 9 m, y un diámetro de 3 m, está dotado de dos motores que desarrollan un empuje de 13.600 kg. El 30 de mayo de 1966 un Centaur fue utilizado como segunda sección del misil Atlas para lanzar el *Surveyor 1* hacia la Luna. Más tarde, como sección final del misil Titan III, fue empleado para el lanzamiento de algunas sondas espaciales interplanetarias, como el Viking enviado hacia Marte.

Centelleo. A causa de la turbulencia atmosférica, la luz de los cuerpos celestes presenta una luminosidad variable. A este fenómeno se le da el nombre de centelleo. Para solucionarlo, los astrónomos construyen sus observatorios por encima de la capa atmosférica más densa y turbulenta, en los altiplanos y en las montañas muy frecuentemente por encima de los 2.200 metros de altura. El centelleo, obviamente, desaparece en el espacio extraterrestre donde operan, con grandes ventajas, los observatorios astronómicos situados en los satélites artificiales.

Centrífuga (fuerza). Es la fuerza que se pone de manifiesto en los movimientos rotatorios y que tiende a impulsar al objeto hacia el extremo de la curva. Aumentando la velocidad de rotación del cuerpo, su valor tiende a crecer. En el caso de un cuerpo unido a la extremidad de una cuerda que se hace girar en una órbita circular, teniendo con la mano el otro extremo de la cuerda extendida, la fuerza centrífuga es la que mantiene la cuerda en tensión y que se siente como una tracción en la mano. A ella se opone una fuerza igual y contraria y llamada centrípeta, la que la mano ejerce sobre el objeto a través de la cuerda. En el caso de un satélite artificial en órbita alrededor de la Tierra, la fuerza centrífuga que le imprime a éste el cohete con el cual ha sido lanzado equilibra exactamente la fuerza centrípeta, que en este caso coincide con la fuerza de atracción gravitacional, y el cuerpo permanece girando alrededor de nuestro planeta. Sin embargo, si el espacio en el cual orbita el satélite tiene un elemento que opone al movimiento una leve resistencia,

como por ejemplo partículas de gas rarefadas pertenecientes a la atmósfera exterior de la Tierra, la velocidad de rotación tiende a disminuir, así como la fuerza centrífuga. En este caso, la fuerza de atracción gravitacional, que ya no está equilibrada, predominará sobre la fuerza centrífuga y tenderá a atraer al satélite, haciéndolo caer hacia la Tierra. Este es el mecanismo por medio del cual los satélites artificiales en órbitas bajas, tienen vidas medias relativamente modestas y caen hacia nuestro planeta destruyéndose.

Ceres. Es el más grande de los Asteroides o pequeños planetas y el primero en haber sido descubierto, y lo fue por Giuseppe PIAZZI (1746-1826), director del observatorio astronómico de Palermo, el 1 de enero de 1801. Tiene un diámetro de 1.000 km y completa una vuelta alrededor del Sol cada 4,6 años, a una distancia media de 413.800.000 km. Ceres, en el máximo de su luminosidad aparente, apenas es visible a simple vista desde la Tierra.

Cero absoluto. Es la temperatura correspondiente a -273°C . Es considerada el punto cero de la escala termométrica absoluta, por cuanto se considera que a temperaturas tan bajas la materia se encuentra en estado de reposo absoluto, en el sentido de que las moléculas no se hallan ya animadas por vibraciones de ninguna especie.

Cerro Tololo (observatorio). Es un observatorio astronómico enclavado en la montaña de Cerro Tololo, en los Andes chilenos, a una altura de 2.160 m, con un gran telescopio reflector de 4 m, de diámetro, gemelo del de Kitt Peak, en Arizona. Está en funcionamiento desde 1967 por iniciativa de la AURA (Association of Universities for Research in Astronomy).

CETI. Sigla que indica genéricamente los programas de investigación de vida extraterrestre a través de señales de radio u otros medios oportunos. Literalmente quiere decir: «Communication with Extra Terrestrial Intelligence» (comunicación con inteligencia extraterrestre). Algunos estudiosos que se dedican a estas investigaciones consideran la sigla como demasiado concreta y prefieren adoptar una similar: SETI o sea «Search for Extra Terrestrial Intelligence (investigación de inteligencia extraterrestre), la cual incluye, o por lo menos no declara de manera manifiesta, la ambición de un diálogo con los extraterrestres y se limita a hablar genéricamente de investigación. Los programas CETI parten de estas bases: la vida es un fenómeno de alcance cósmico, que se ha desarrollado en otros planetas similares a la Tierra pertenecientes a lejanos sistemas solares, y, por lo tanto, puede existir un porcentaje de tales planetas en los que la vida ha evolucionado hasta alcanzar el estadio de una civilización tecnológica (\rightarrow *Astrobiología*). Dada por descontada esta premisa, se ha considerado oportuno ponerse a la escucha, con los radiotelescopios, para tratar de captar eventuales señales de radio enviadas por civilizaciones extraterrestres, anhelantes de entrar en contacto con seres semejantes. Algún estudioso considera sumamente útil dirigir mensajes hacia estrellas lejanas, con la esperanza de recibir una respuesta. Llevando la investigación sobre la vida extraterrestre a la lógica del contacto por radio, los problemas claves son los relativos a la dirección en la cual pueden llegar los mensajes y las frecuencias de escucha; en otros términos, hacia dónde dirigir los radiotelescopios y en qué canales sintonizarlos en la esperanza de captar señales inteligentes. El primer aspecto se ha solucionado seleccionando, entre muchas, una serie de estrellas similares al Sol

que se piensa deben poseer planetas de tipo terrestre; o bien efectuando intentos de escucha omnidireccional. En lo relativo al segundo problema, se ha elegido la denominada región de las microondas (frecuencia de aproximadamente 1 a 10 gigaHertz) en la que se registra el mínimo ruido de fondo natural y que es considerada, por lo tanto, como el canal seleccionado por cualquier sociedad tecnológica intencionada para realizar contactos cósmicos sin interferencias. Esta región, aunque estrecha con respecto al espectro íntegro de radio-ondas, contiene sin embargo miles de millones de bandas en las cuales es posible sintonizar. Entre todas, los investigadores de programas CETI consideran que las elegidas deben ser: la del hidrógeno (H) a 1,4 gigaHertz, y la del oxidrilo (OH) a 1,7 gigaHertz. Esto se debe a que estas dos moléculas representan los productos de disociación del agua, el elemento básico de la vida. Estas también deberían ser preseleccionadas por los extraterrestres, por cuanto son canchales simbólicos de las comunicaciones entre civilizaciones galácticas. Los programas de investigación de civilizaciones extraterrestres comenzaron en 1960 por iniciativa del astrónomo Frank Drake, quien escuchó durante cuatrocientas horas dos estrellas del tipo solar: Ceti y Eridani, distantes unos 11 AL de nosotros. A partir de entonces las escuchas se han multiplicado, utilizando radiotelescopios diseminados por todo el mundo. Hasta ahora se ha intentado con algunos miles de estrellas, pero los resultados han sido negativos. El 16 de noviembre de 1974, Frank Drake realizó el primer intento de diálogo con una civilización extraterrestre enviando, por medio del gran radiotelescopio de Arecibo una señal de tres minutos conteniendo algunas informaciones fundadas sobre la raza humana y nuestro sistema solar, sintetizadas en código binario. La señal está viajando hacia un grupo de estrellas de la aglomeración M13, que dista alrededor de 24.000 AL de nosotros. Dado los tiempos necesarios para una eventual respuesta (48.000 años), el intento de Drake debe considerarse sólo como un simple experimento demostrativo. Recientemente, algunos estudiosos han criticado la elección de la radio como instrumento eficaz de comunicación, considerándolo como un prejuicio de nuestra civilización hacia las telecomunicaciones, y han sugerido experimentar con otros medios de contacto basados en los rayos láser, radiaciones infrarrojas, sondas interestelares, etc. Los programas CETI y SETI, desarrollados principalmente en Estados Unidos y en la antigua Unión Soviética, atraviesan un periodo de crisis porque el "establishment" político no los considera suficientemente motivados y, por lo tanto, se muestra reacio a conceder los fondos necesarios para su financiación.

Circumpolar. Se dice de aquellas estrellas que, a causa del movimiento de rotación de la Tierra, parecen girar alrededor de la Estrella Polar y que no se ocultan jamás para el observador de una determinada latitud. Para que una estrella sea circumpolar es necesario que su distancia angular desde el polo sea inferior a la latitud del observador. Así por ejemplo, a una latitud de 45 $^{\circ}$, todas las estrellas que tienen una distancia angular desde el polo inferior a 45 $^{\circ}$ son circumpolares. Para un observador situado en el Polo Norte, es decir, a 90 $^{\circ}$ de latitud, todas las estrellas son circumpolares y, para uno situado en el Ecuador, ninguna estrella es circumpolar.

Cita. Es una maniobra que lleva a dos o más vehículos espaciales a aproximarse recíprocamente. La cita puede ser el preludio de un simple reconocimiento visual de los vehículos involucrados, o bien de un Amarre (docking); en este último caso los vehículos espaciales deben ser conducidos

lentamente hasta tener una velocidad relativa casi nula. Una misión de cita puede hacerse necesaria cuando se quiera efectuar la exploración desde muy cerca de un cuerpo celeste, por ejemplo un cometa, por parte de una sonda espacial. En este caso los técnicos americanos diferencian el "rendez-vous" o vuelo de la sonda que se acerca al cuerpo celeste y lo sigue durante un cierto periodo manteniendo su misma velocidad y dirección de desplazamiento, del "flyby" o paso rápido junto al cuerpo celeste con una velocidad y dirección diferentes.

Clases espectrales. Desde la segunda mitad del siglo XIX el astrónomo jesuita italiano Angelo Secchi (1818-1878), observando los Espectros de las estrellas (es decir, esas franjas con los colores del arco iris que se obtienen haciendo pasar la luz a través de un prisma), notó que éstas presentaban características diferentes según las temperaturas superficiales de las propias estrellas. Las temperaturas, a su vez, están en estrecha relación con el color de las estrellas: las más calientes emiten una luz blanco-azul y las más frías una luz rojo-oscura. Nuestro Sol, que tiene una temperatura intermedia entre estos dos extremos, emite, como es sabido, una luz de color preponderantemente amarillo. Por lo tanto, Secchi apuntó las bases de la clasificación espectral que, en sus líneas esenciales, aún se sigue. Las estrellas están divididas en 10 clases espectrales, a cada una de las cuales se le asigna una letra del alfabeto en esta sucesión: O, B, A, F, G, K, M, R, N, S. A las primeras letras corresponden las estrellas más calientes, caracterizadas por los espectros más simples; a las últimas, las más frías, espectros de creciente complejidad. Las estrellas supercalientes, llamadas de tipo WOLF Rayet por el nombre de los astrónomos que las estudiaron, son indicadas con la letra W y a veces asociadas a la O, a la cabeza de la sucesión. Como en cada clase espectral, es decir, en cada letra, existen diferentes variedades de estrellas, se ha creado también para cada letra, una posterior división en 10 tipos espectrales.

CNES. Siglas del Centre National d'Etudes Spatiales, el organismo espacial francés. Tiene su sede en París, pero su principal base de lanzamiento se encuentra en Kourou, en la Guayana francesa, al norte del Brasil.

Cohete. Es el vehículo que ha permitido al hombre salir de la Tierra para iniciar la gran epopeya de la exploración espacial. Conocido desde la antigüedad y utilizado durante siglos como instrumento de guerra, sólo desde hace relativamente poco tiempo el cohete ha sido tomado en consideración como pacífico medio de propulsión capaz de vencer la fuerza de atracción que nos mantiene unidos a nuestro planeta. Su desarrollo efectivo comenzó poco después de la última guerra mundial y después de haber sido, una vez más, empleado por el hombre como instrumento de muerte. Características. Por cohete se entiende habitualmente un huso aerodinámico que contiene en su interior un motor a reacción, los depósitos para los propulsores y la llamada «carga útil» para transportar, y que es capaz de elevarse verticalmente o con una determinada inclinación desde el suelo o desde el aire. El corazón de un vehículo de este tipo es el motor a reacción o cohete, que está en condiciones de proporcionar el empuje necesario a su movimiento aprovechando el principio físico de acción y reacción. En base a este principio, enunciado por primera vez por Isaac NEWTON (1642-1727), a toda acción corresponde una reacción igual y contraria (tercera ley del movimiento). En este motor la acción está representada por un flujo de partículas producidas por medio de procesos químicos y/o físicos de diverso

tipo, que son expulsadas a altísimas velocidades en una determinada dirección; la reacción, en cambio, está representada por el movimiento del vehículo en la dirección opuesta a aquella en que son expulsadas las partículas. (Conviene aclarar los conceptos porque así parecería que el principio de acción y reacción es una exclusividad del motor a chorro. En cambio, este principio está en la base de todos los movimientos incluso de nuestro caminar. En efecto, el roce de nuestros zapatos sobre el suelo, impulsa hacia atrás la tierra, acción, y, por consiguiente, nosotros avanzamos, reacción. Esta explicación podría parecer paradójica, pero es fácil comprobarla tratando de caminar sobre una superficie lisa como una pista de hielo para patinadores: sin el roce entre zapatos y suelo no logramos desencadenar el mecanismo de acción y reacción y efectuamos pasos en el vacío). Muy esquemáticamente, un motor cohete, que puede ser de diferentes tipos según el proceso de funcionamiento en el que se basa, está constituido por una cámara donde se lleva a cabo la producción de las partículas a expulsar, por los aparatos necesarios para alimentar tal producción y por una válvula, o tobera de descarga, a través de la cual las partículas producidas son expulsadas a altísima velocidad. Para un cohete que parte de tierra, a nivel del mar, y que debe alcanzar en pocos minutos la extraordinaria velocidad de 28.000 km/h, necesaria para ponerse en órbita alrededor de la Tierra (en cambio, si se quiere salir de la Tierra directamente y dirigirse hacia un planeta exterior, esta velocidad debe ser de 40.000 km/h), es preciso un motor que expulse una gran masa de partículas lo más rápidamente posible, es decir, que ejerza una acción adecuada a la reacción que se quiere obtener. Esto se logra utilizando motores a reacción capaces de proporcionar elevados empujes. El empuje de un cohete se mide en kilogramos y, para un vehículo que parte verticalmente desde el suelo, debe resultar del 30 al 50 por cien superior al peso de todo el vehículo. Sin embargo, las altas velocidades requeridas para los vuelos astronáuticos que parten de tierra no pueden alcanzarse, habitualmente, con un solo cohete, aunque sea grande y potente. Se utiliza entonces la técnica del cohete multisecciones, es decir, dos o más cohetes colocados uno sobre el otro (o bien como en el caso del transportador que conduce al Space Shuttle, dos cohetes auxiliares que están a los lados del principal), de manera que, agotado el empuje de la primera sección, se enciende la segunda y así sucesivamente. Naturalmente, las secciones siguientes a la primera, tendrán más ventajas porque partirán, en vez de con velocidad cero, con la velocidad final adquirida por la sección anterior. Motor de cohete. El aparato propulsor de un cohete, según el mecanismo empleado para la producción de las partículas que proporcionan el empuje, puede estar comprendido en una de las siguientes categorías: cohete químico, cohete nuclear, cohete a iones. 1) Motor de propulsión química. Es el tipo más extendido. El proceso químico que lo alimenta es la combustión de determinados Propulsores que desarrollan las partículas gaseosas a alta temperatura y velocidades responsables del empuje. Mientras el propulsor que alimenta el motor de un avión a reacción está compuesto de un solo componente químico, el llamado combustible (en este caso específico se trata de queroseno) que se quema por el oxígeno que el motor extrae del aire, el propulsor que alimenta a un motor a cohete debe tener, además del combustible, también un oxidante (o comburente), es decir, un compuesto químico necesario para hacer quemar el combustible, debido a que el cohete debe volar sobre todo en el vacío del espacio, donde no hay oxígeno. Los cohetes de propulsión química, a su vez, pueden ser de dos tipos: de propulsor sólido y de propulsor líquido. En los cohetes de propulsor

sólido, el combustible y el oxidante se mezclan conjuntamente bajo la forma de un polvo compacto y solidificado, llamado grano. Este se acumula en la cámara de combustión adhiriéndose perfectamente a las paredes y dejando un agujero cilíndrico central. La ascensión del grano se lleva a cabo por medio de un impulso eléctrico. Una de las combinaciones más utilizadas para propulsores sólidos es la mezcla de poliuretano, un combustible plástico, con perclorato de amonio como oxidante; aunque también se emplean otras mezclas (véase tabla). Los cohetes de propulsor líquido, por lo general, llevan el combustible y el oxidante en dos depósitos separados. Los dos líquidos son enviados por medio de una bomba a la cámara de combustión donde, al entrar en contacto, desarrollan el proceso químico que da lugar a un potente flujo de partículas gaseosas. Una de las combinaciones más empleadas para los cohetes de propulsor líquido es la de hidrógeno líquido (combustible) con oxígeno líquido (oxidante). Esta ha sido la adoptada, por ejemplo, para alimentar algunos de los numerosos motores del Saturno V, que llevó a los americanos a la Luna. Naturalmente, gases como el hidrógeno y el oxígeno existen en estado líquido a temperaturas criogénicas (algunas decenas de grados por encima del cero absoluto): por lo que las operaciones para cargar los depósitos son sumamente complejas, tal como se contempla cuando se cargan los depósitos de un cohete de propulsor líquido que se halla en la rampa de lanzamiento. Otra combinación de propulsores líquidos es la de hidrazina (combustible) y peróxido de nitrógeno (oxidante), actualmente utilizada en los motores principales del Space Shuttle. También existen cohetes de propulsión líquida que recurren al llamado monopropulsor, es decir, a un único compuesto químico en estado líquido que se hace pasar a través de un catalizador, presente en el interior de la cámara de combustión, que tiene el poder de descomponerlo en una mezcla gaseosa que se quema. Tal es, por ejemplo, el peróxido de hidrógeno que, en contacto con un catalizador de platino, se descompone en oxígeno y vapor de agua sobrecalentado. Una característica que diferencia a los cohetes de propulsión sólida de los de propulsión química es que, en los primeros, la combustión y, por lo tanto, el empuje, dura hasta la extenuación del propulsor; en cambio en los segundos es posible bloquearla, interrumpiendo el flujo de alimentación del propulsor líquido contenido en los depósitos, por medio de una válvula. 2) Cohete nuclear. Se trata de un tipo de motor aún en estado de proyecto, en el cual no se llevan a cabo procesos de combustión, sino que los gases son llevados a las altas temperaturas necesarias para obtener el empuje del calor generado por un reactor a fisión nuclear (del mismo tipo de las centrales para la producción de energía eléctrica). Cuando el hombre esté en condiciones de dominar el proceso de Fusión nuclear se podrán realizar también cohetes a fusión. Los propulsores tomados en consideración para alimentar un motor de cohete a fisión nuclear son el hidrógeno líquido o, incluso, el agua; hechos pasar a través de un radiador de calor, alimentado por la pequeña central nuclear en miniatura, son transformados en gases y entonces expulsados, como en un motor de cohete químico, a través de la tobera de descarga. Una concepción distinta de cohete nuclear apunta sobre un mecanismo de empuje que se basa en las acciones dinámicas y térmicas desencadenadas por una pequeña sucesión de explosiones nucleares, precisamente como las producidas por un artefacto bélico. Esta línea de investigación fue iniciada en los años sesenta por un grupo de físicos americanos en el ámbito del proyecto Orión, pero no fue continuada. Aún hay que señalar el proyecto desarrollado por la British Interplanetary Society para cuando se alcance el objetivo de la fusión

nuclear controlada: un cohete movido por un chorro de plasma generado a través de este tipo de proceso nuclear. La propia British Interplanetary Society ha presentado el esquema de una misión de exploración de algunas estrellas cercanas, por medio de una astronave a fisión nuclear bautizada Dédalo, que debería alcanzar una velocidad de 40.000 km/s, es decir, casi el 14 % de la velocidad de la luz. Los cohetes nucleares, si bien los estudios y experimentos en el sector han comenzado a principios de los sesenta (ver Nerva), todavía no han encontrado aplicación práctica, tanto a causa de su elevado costo, como por los problemas de carácter ambiental provocados por la diseminación de sustancias radioactivas en la atmósfera terrestre. Es probable que motores de este tipo operen en ambiente extraatmosférico. 3) Cohete a iones. Aunque aún se encuentre en fase experimental, el cohete a iones parece muy prometedor, sobre todo para los viajes de larga duración. El fenómeno físico sobre el que se basa es precisamente la ionización, es decir, la posibilidad de que los átomos se carguen eléctricamente después de haberles quitado los electrones. El propulsor utilizado para este tipo de cohete es un metal alcalino, por ejemplo el cesio, cuyos átomos pueden ionizarse con facilidad haciéndolos pasar a través de una rejilla sobrecalentada. Inmediatamente después, los iones así formados son acelerados a alta velocidad por intensos campos eléctricos. Entonces, las partículas de cesio ionizadas y aceleradas son expulsadas por la tobera de descarga. Pequeños motores de iones montados a bordo de satélites ya han sido experimentados con éxito, hasta el punto de que la NASA, a finales de los años setenta, proyectaba el envío de una sonda accionada por un motor de iones en un largo viaje hacia dos cometas: el Halley y el Tempel 2. Sin embargo, la empresa ha encontrado dificultades presupuestarias. Un sistema para determinar las prestaciones de un cohete, con relación al empleo que se pretende darle, es el de tomar en consideración dos parámetros fundamentales: su peso total y su impulso específico. El primer término no necesita ninguna explicación; aun bastará con decir sólo que cuanto mayor es el peso complejo, mayor es el empuje que debe ejercer el motor para levantarlo de tierra. Por lo tanto, un requisito importante para un cohete consiste en recurrir a estructuras, motores y propulsores que sean lo más livianos posibles. El impulso específico es la fuerza de empuje en k que un k de propulsor está en condiciones de proporcionar por segundo. Tratándose de una relación $k/k/s$, se deduce fácilmente que el impulso se mide en segundos. Dicho esto, podemos comparar los diferentes tipos de propulsión a cohete ilustrados. El cohete químico es lo mejor que, con la tecnología actual, se puede lograr con el fin de superar la gravedad terrestre. En efecto, proporciona impulsos específicos mediocres y, sin embargo, adecuados con respecto al peso total que debe levantar. Los propulsores líquidos proporcionan en promedio un impulso específico mayor que los sólidos y, por lo tanto, son más utilizados para las secciones principales de los misiles que deben elevarse de tierra. Los mejores propulsores líquidos alcanzan hoy un impulso específico de aproximadamente trescientos ochenta segundos; en cambio, los mejores propulsores sólidos sólo de doscientos cincuenta segundos. Si bien en el futuro podrán experimentarse propulsores químicos aún más eficientes, no parece en el actual estado de los conocimientos que pueda superarse el umbral de los cuatrocientos segundos de impulso específico. Sin embargo, la limitación más grave del motor químico, en general, es su escasa autonomía. Un cohete, tanto de propulsión líquida como sólida, consume sus propulsores en el plazo de pocos minutos. Es adecuado por lo tanto para escapar de la gravedad terrestre, pero después debe realizar

su viaje por inercia con los motores apagados, aprovechando la velocidad ya adquirida y, eventualmente, los campos gravitacionales de otros cuerpos celestes. Este es el motivo por el cual, aún hoy, los viajes interplanetarios tienen una duración de meses o de años. En cambio, si se pudiera disponer de un motor cohete que estuviera encendido durante largos periodos, los tiempos de vuelo entre un planeta y otro se reducirían drásticamente. Si se quisiera mantener encendido un cohete químico durante periodos muy largos, sería necesario dotarlo de una reserva de propulsores tan pesada que el vehículo no lograría jamás despegar de Tierra. Podrían enviarse separadamente decenas de depósitos y ponerlos en órbita terrestre, para después unir los todos juntos en el espacio construyendo así la reserva necesaria para un encendido prolongado; sin embargo, los costos de una operación de este tipo serían prohibitivos. El cohete de propulsión nuclear garantiza en cambio una larga autonomía de la principal fuente de calor (debe pensarse que, con un pequeño cartucho de material fisionable como el uranio, un reactor puede funcionar durante años) y también una transferencia de calor al propulsor, tan eficiente como para hacerle alcanzar altas velocidades de expulsión de partículas gaseosas. Se calcula que llevando a unos 3.000 °C propulsor del tipo del hidrógeno, se obtendría un impulso específico de más de mil segundos. Por estas razones, el cohete a propulsión nuclear surge como una perspectiva muy prometedora tanto en EE.UU. como en la URSS, donde se trabaja en estos proyectos con mucho empeño y en gran secreto. El cohete de propulsión iónica, por último, es el que puede proporcionar el máximo de impulso específico - miles de segundos- y el mínimo de empuje. Las partículas alcanzan altísimas velocidades, pero son muy livianas. Esto significa que un motor de iones no tendrá nunca la fuerza de levantar un cohete desde la Tierra y deberá emplearse a partir del espacio. Sin embargo, garantizando el funcionamiento del motor sin interrupción durante años, podrá ir acelerando poco a poco hasta alcanzar las elevadas velocidades necesarias para los largos viajes interplanetarios o interestelares. La historia. Parece que el cohete fue inventado en China entre el primer y el segundo milenio después de Jesucristo. En efecto, los chinos conocían la pólvora, como se desprende de la lectura de un antiguo manuscrito fechado en el 1040 d. J.C., el Wu Cling Tsung Yao, donde viene la fórmula. Los primeros cohetes no eran otra cosa que rudimentarios cilindros de cartón u otro material, cerrados por un extremo y llenos de pólvora. Eran encendidos con una mecha y más que nada servían para sembrar el pánico en las filas de los adversarios. Dos siglos más tarde, en 1232, los historiadores comentan que durante el asedio de Kai Fung Fu los chinos recurrieron a cohetes. Incendarios similares a fuegos de artificio. Casi al mismo tiempo, estas temibles flechas chinas, como se llamaban en Occidente, fueron introducidas en Europa, donde tuvieron un gran éxito tanto como fuegos artificiales como Instrumentos bélicos. Después de estos primeros, rudimentarios intentos, el empleo del cohete no conoció grandes progresos hasta finales del siglo XVII. En aquel periodo, en efecto, los hindúes utilizaron con tal éxito baterías de pequeños cohetes de combustible sólido contra los Ingleses, que un oficial del Imperio británico, William Congreve, decidió estudiar profundamente las posibilidades de desarrollo de este Instrumento bélico. Experimentó entonces con cohetes de propulsión sólida de gran precisión y fiabilidad, que fueron adoptados por la artillería inglesa y tuvieron un amplio empleo durante las guerras napoleónicas. Uno de los cohetes de Congreve estaba constituido por un tubo de hierro de un metro de largo que llevaba una vara estabilizadora; esta lo

hacía desplazar en la dirección deseada logrando un alcance de 1.800 metros. En el transcurso del siglo XIX, el cohete se difundió del ejército inglés a todas las fuerzas armadas de los otros países europeos. Los pioneros. Mientras tanto, aparte del uso bélico, la idea del cohete como medio de propulsión para los viajes más allá de nuestro planeta, se iba abriendo camino gracias a los estudios de los primeros pioneros de la astronáutica. Konstantin E. TSIOLKOVSKY (1857-1935), ruso, se dedicó hacia finales del siglo XIX a establecer las fórmulas fundamentales que gobiernan el funcionamiento del motor a cohete; intuyó que los motores de propulsión líquida serían más eficientes que los de propulsión sólida, desarrollando la teoría de los transportadores de varias secciones y previendo que el cohete se convertiría en el único vehículo con el cual el hombre podría vencer la fuerza de gravedad y abandonar la Tierra. Más tarde, en Alemania, Hermann OBERTH (1894) junto con otros apasionados fundaba la sociedad alemana para los viajes espaciales, continuando el desarrollo de los principios teóricos del cohete y del vuelo espacial. En América, mientras tanto, el americano Robert H. GODDARD (1882-1945) hacía volar, en 1926, el primer misil alimentado con propulsor líquido. Llegamos así a nuestros días y al hombre que constituye el puente entre los intentos de los primeros pioneros del vuelo misilístico y la conquista espacial: Werner VON BRAUN (1912-1977). Alumno de OBERTH, este joven ingeniero alemán trabajó, en los años inmediatamente anteriores a la segunda guerra mundial, en un polígono militar sobre la costa báltica, Peenemunde, donde eran experimentadas las V-2, los mortíferos misiles que la Alemania nazi envió a millares sobre Londres. Caído en las manos de los americanos en el transcurso de los hechos que acompañaron la ocupación y la rendición alemana, VON BRAUN llevó a los EE.UU. la competencia y la tecnología de la misilística alemana. Trabajó de 1945 a 1950 en Fort Bliss, Texas; después en el Redstone Arsenal de Alabama, donde continuó construyendo misiles similares a la V2, pero de dimensiones mayores, que se convertirían en los primeros ICBM americanos, es decir, en los primeros transportadores intercontinentales de cabezas nucleares. En aquellos años, la obra más importante de VON BRAUN fue la construcción del misil Redstone y de un derivado de éste, el Júpiter C. Cuando VON BRAUN se dio cuenta que tenía a su disposición transportadores de suficiente potencia, preguntó a las autoridades políticas si podía emplearlos para poner en órbita un satélite artificial, pero la respuesta fue negativa. En el ínterin, se desarrollaba una historia paralela en la URSS. También en este país habían convergido cerebros y tecnologías alemanas, pero los rusos se encontraron en ventaja, ya sea porque durante la guerra habían empleado extensamente misiles a propulsor sólido, o porque en épocas sucesivas, desarrollando bombas atómicas de grandes dimensiones y peso (al contrario de los americanos que habían logrado producir artefactos más livianos y compactos), habían sido forzados a producir misiles balísticos intercontinentales más potentes. Nacían así, por obra de un grupo de expertos, constituido por Friedrich TSANDER, Sergei KOROLEV, Mikhail TIKHONRAVOV, los transportadores del tipo A. El 4 de octubre de 1957 uno de estos misiles, gigantesco con respecto a los americanos, puso en órbita al Sputnik, el primer satélite artificial. Los EEUU dieron de inmediato carta blanca a VON BRAUN que, superando la envidia y competencia internas en la burocracia militar americana, logró poner en órbita alrededor de la Tierra, gracias a un Júpiter C, el primer y pequeño Explorer: era el 31 de enero de 1958. La relación de potencia entre los primeros misiles americanos y soviéticos era, en aquellos

tiempos, de uno a diez. Sin embargo la carrera había apenas comenzado y los americanos superarían rápidamente la desventaja que llevaban. La US Air Force desarrollaba, en efecto, los más potentes Atlas, Thor y Titan, mientras la URSS continuaba asombrando al mundo con el lanzamiento de grandes astronaves tripuladas, del tipo Vostok, Voskhod y Soyuz, por medio de transportadores cada vez más potentes del tipo A1 y A2. En 1965 hizo su aparición el Proton, aún más potente que los A2, que transportó al satélite soviético homónimo. Mientras esto ocurría, VON BRAUN trabajaba en la realización del gigantesco Saturno V de tres secciones, que llevaría los primeros hombres a la Luna. En condiciones de operar en 1957, tenía una potencia de empuje total de 3.500.000 kg, más del doble que el Proton soviético: la supremacía, diez años después, pasaba a los americanos. Los soviéticos realizaron después lo que en Occidente se llama convencionalmente Supermisil G-2, aún más potente que el Saturno, serviría de transporte para las grandes estaciones espaciales orbitales. Después desapareció la exigencia de realizar gigantescos misiles. En efecto, en los años ochenta, se abrió camino una nueva concepción de transporte espacial, la de la lanzadera o Space Shuttle. Se trata de un verdadero transbordador espacial reutilizable que se pone en órbita por medio de un cohete convencional. Las estaciones orbitales del futuro, en lugar de ser lanzadas de una sola vez con grandes supermisiles, serán montadas en órbita con los materiales transportados por esta nave. El futuro. Ya se ha hablado de las prometedoras perspectivas de desarrollo del cohete nuclear y del de iones. Sin embargo existen otros tipos de propulsión hoy en estudio. Algunos pueden parecer de ciencia ficción, como parecían por otra parte los estudios de TSIOLKOVSKY en el siglo XIX, pero no debe excluirse que de ellos nazca el sistema de propulsión de un lejano mañana. Una posibilidad muy sugestiva la constituye el cohete de fotones. En su motor se generaría un haz de fotones, después expulsado en cierta dirección. Los fotones, o cuantos de luz, son las partículas portadoras de la radiación electromagnética. Tienen una masa realmente pequeña, pero son las partículas más veloces del Universo (300.000 km/s) y en ellas hay una cierta cantidad de movimiento. La expulsión de un haz concentrado de fotones de un motor a cohete determinaría un contraempuje y, en largos periodos, una aceleración del vehículo hasta altísimas velocidades. El problema, que no es fácil de resolver, es el de encontrar un método eficaz de conversión de la materia en energía fotónica. El Sol podría ser la fuente primaria para dos tipos diferentes de propulsión solar en estudio: uno consiste en convertir su energía en calor y calentar así un fluido de trabajo que sea expulsado bajo forma gaseosa y proporcione el empuje necesario; otro consiste en aprovechar la presión de la radiación solar para impulsar a la astronave en una determinada dirección. En este último caso, más que de un motor a cohete es conveniente hablar de vela solar: en efecto, el vehículo se desplazaría, ni más ni menos como un nave a vela empujada por el viento. Se han diseñado vehículos de vela solar con superficies de 1.000 m², capaces de ir de un planeta a otro en tiempos relativamente cortos (del orden de algunos meses). Uno de estos había sido diseñado para un "rendez-vous" con el cometa Halley, que se llevaría a cabo en 1986, pero se ha suspendido porque el sistema aún no ofrece suficientes garantías y parecía arriesgado confiarle un paquete de instrumentos de altísimo valor, como el requerido para un análisis desde sus cercanías de un cometa; de todos modos será estudiado por la sonda Giotto de la ESA.

Colonias espaciales. Una evolución de las grandes Estaciones espaciales que están en órbita alrededor de la Tierra, y que se proyecta construir antes que finalice este siglo, son las colonias espaciales, que se habrán de construir en órbita terrestre, las cuales podrían convertirse en una realidad en el siglo XXI. Según Gerard O'NEILL, el diseñador más famoso de estas estructuras, una típica colonia espacial podría estar constituida por un inmenso tubo rectilíneo de 6 km de diámetro y 25 km de longitud. Con el fin de crear una gravedad artificial, el tubo se haría rotar alrededor del propio eje longitudinal. La arquitectura de esta ciudad flotante en el espacio, que según O'NEIL podría albergar a centenares de miles de habitantes, es muy singular. Supongamos que se secciona el tubo con un plano normal a su eje longitudinal: encontraremos tres valles (que reproducen un paisaje montañoso terrestre, ricos en vegetación y salpicados de casas), separados por tres espacios vacíos en los cuales las paredes del tubo son transparentes de manera que pueda entrar la luz del Sol. En el interior del tubo se crearía una atmósfera similar a la terrestre, comprendiendo incluso nubes y vapores. Un habitante de uno de los valles vería su propia franja de tierra extenderse a lo largo de todo el tubo; a ambos lados surgiría el paisaje espacial, y sobre su cabeza, las otras dos franjas de tierra con los habitantes que allí se encuentran suspendidos con la cabeza hacia abajo. Una de las peculiaridades de esta colonia radicaría en que, levantándose en el aire hacia el centro del tubo, la gravedad artificial disminuiría y por lo tanto un hombre provisto de un simple par de alas lograría volar. O'NEIL asegura que en el siglo XXI dispondremos de la tecnología adecuada para construir colonias espaciales de este tipo y que los materiales necesarios podrían ser transportados desde la Luna hacia la zona del espacio que se ha elegido. Otro proyecto de colonia espacial orbital ha sido puesto a punto en 1975 por un grupo de científicos, técnicos y economistas, bajo los auspicios de la NASA y de la Stanford University de California. Se trata de una estructura en forma de rueda, o "toro", con un diámetro de 1,5 km, que gira sobre su eje central para crear un estado de gravedad artificial. La luz necesaria para la vida de los "colonos" y para sus actividades sería proporcionada por un enorme espejo circular fluctuante sobre la estructura, el cual haría converger los rayos del Sol hacia otros espejos que, a su vez, los reflejarían en el interior a través de amplios vitrales de 30 metros. Además de casas, fábricas, escuelas, hospitales, negocios, etc., la colonia dispondría de una gran instalación automática para el tratamiento de los minerales extraídos del suelo lunar.

Color (índice de). Las estrellas nos parecen azules, blancas, amarillas o rojas, según su temperatura superficial: las primeras de esta escala de colores son las más calientes, y las últimas las menos. Nuestro Sol, por ejemplo, es una estrella amarilla (temperatura media superficial de 6.000 °C). Se define como índice de color de una estrella la diferencia entre su Magnitud visual y la fotográfica. En general las dos medidas no se corresponden porque, a paridad de magnitud, los diversos colores de las estrellas impresionan de manera diferente la emulsión fotográfica. Para las azules el índice de color es negativo, porque el ojo humano valora su magnitud como inferior con respecto a la medida en la emulsión fotográfica. Para las rojas, por último, el índice de color es positivo, porque el ojo humano da una medida de su magnitud superior a la de la emulsión.

COLLINS, Michael. Ha sido el piloto del módulo de mando, bautizado Columbia, de la astronave Apolo 11, con la cual

fue llevada a cabo, por los americanos, el 20 de julio de 1969, la conquista de la Luna. COLLINS se quedó esperando en órbita lunar, mientras sus compañeros ARMSTRONG y ALDRIN efectuaban el primer alunizaje sobre nuestro satélite natural. COLLINS se había convertido en astronauta en 1963 y antes participó en la misión Géminis 10. Como los otros dos protagonistas de la histórica empresa, después de la misión abandonó el cuerpo de astronautas, dedicándose a la historia de las misiones espaciales y convirtiéndose en director del Museo Smithsonian del Aire y del Espacio de Washington.

Coma. Es un tipo de \rightarrow *aberración óptica* que afecta tanto a las lentes como a los espejos. Hace que una imagen puntiforme, por ejemplo una estrella que se encuentra en los bordes del campo visual, aparezca distorsionada como una figura en forma de cometa, de donde precisamente proviene la definición de coma.

Cometas. Los cometas han sido, desde la antigüedad, uno de los fenómenos astronómicos más estudiados a causa de su espectacularidad. En las crónicas de los pasados siglos, están descritos como astros imprevisibles que tienen el aspecto de una estrella crinada, es decir, de una estrella rodeada por una tenue nebulosidad o cabellera y seguida por una cola más o menos larga y mutable. Hasta el siglo XVII científicos y astrónomos discutieron largamente sobre su verdadera naturaleza. Para ARISTÓTELES, que también en este sector representa la opinión dominante, los cometas eran fenómenos atmosféricos; para Séneca, aunque se trata de una voz aislada, eran astros similares a los planetas; para GALILEO estaban causados por fenómenos de refracción. Será preciso esperar a HALLEY y a NEWTON, en la segunda mitad del siglo XVII para tener la demostración de que los cometas son cuerpos que giran alrededor del Sol de manera similar a los planetas, pero en órbitas elípticas muy alargadas. En cuanto a sus dimensiones y a su estructura, sólo desde 1950 a hoy ha sido posible precisar la física y la química de los cometas: se trata de conglomerados de hielo con diámetros de pocos kilómetros que, en proximidad del Sol, a causa del calor absorbido, subliman (la sublimación es el paso del estado sólido al gaseoso) liberando en el espacio grandes cantidades de gas, con el que se forman los espectaculares atributos visibles del cometa: la cabellera y la cola. En la antigüedad, cuando la astronomía estaba muy estrechamente relacionada con la \rightarrow *astrología* y otras creencias mágicas, los cometas eran considerados como presagio de acontecimientos excepcionales como la muerte de gobernantes, el estallido de una guerra o el advenimiento de pestes. Hoy, que la ciencia ha logrado liberarse completamente del lastre de las supersticiones, que ha debido soportar durante tan largo tiempo, los cometas tienen sobre todo un interés cosmogónico. En efecto, se considera la posibilidad de que sean los primeros conglomerados de gases y polvos que se condensaron, hace cinco mil millones de años, en los bordes de la nebulosa primordial que dio origen al Sol y a los planetas. Figurarían, por lo tanto, entre los objetos más antiguos de nuestro sistema solar, y un directo análisis suyo podría revelarnos muchos misterios, aún sin resolver, sobre los hechos que acompañaron el nacimiento de los planetas. Por este motivo, en los próximos años, se prepara una exploración de aproximación a los cometas mediante sondas espaciales automáticas. El cometa Halley, que pasará por el perihelio (punto de mínima distancia del Sol) el 9 de febrero de 1986, después de una larga vuelta de 76 años alrededor del Sol, será explorado por cuatro sondas: una europea bautizada Giotto, dos

soviéticas Venera-Halley, y una japonesa «Planet A» Estructura y composición. Puede decirse que un cometa está compuesto de cuatro partes. 1) El núcleo. Es una parte permanente del cometa compuesta, de lo que se recaba por las observaciones indirectas desde tierra, predominantemente de agua (H_2O), metano (CH_4), amoníaco (NH_3) y dióxido de carbono (CO_2), todos en estado de hielo. Mezclado con los hielos se encontrarían abundantes granos de polvo con dimensiones de una milésima de milímetro. Según el astrónomo americano Fred WHIPPLE, que es el principal autor de este modelo, un núcleo cometario puede definirse como una bola de nieve sucia. 2) La cabellera. Es una parte efímera del cometa. Sólo aparece cuando el núcleo se aproxima al Sol a menos de 5 UA, es decir, cuando ha traspasado la órbita de Júpiter y el calor solar es suficiente para iniciar los procesos de liberación de gases. Entonces, de los componentes fundamentales del núcleo, ya enumerados y también llamados moléculas madres, se separan miríadas de átomos y moléculas en estado gaseoso los cuales, reaccionando químicamente entre sí, dan vida a una atmósfera de moléculas hijas que rodean al núcleo carbono biatómico (C_2), nitrógeno molecular (N_2), radical oxidrilo (OH), radical amonio (NH), cianógeno (CN), etc. Estas partículas, en el vacío absoluto del espacio se alejan rápidamente del núcleo, a velocidades cercanas a los 0,5 km/s, llevando consigo los diminutos granos de polvo englobados en la bola de nieve sucia y formando una cabellera que puede alcanzar dimensiones de un millón de kilómetros de diámetro. La cabellera resplandece, sobre todo, por un fenómeno de excitación luminosa de los átomos que la componen por parte de la radiación solar ultravioleta (fluorescencia), y de este modo esconde y vuelve invisible al pequeño núcleo de hielos. 3) La cola. Las mismas moléculas hijas de la cabellera son atrapadas, en parte, por el viento solar, un flujo de partículas a gran velocidad (400 km/s) que fluyen de manera continua desde la atmósfera del Sol y son ionizadas (privadas de los electrones) y arrastradas lejos de aquél. Esta es la razón por la cual las colas aparecen siempre en dirección opuesta al Sol. A veces es posible distinguir, en un mismo cometa, una cola de composición preponderantemente gaseosa o cola de plasma, recta y extendida como una bufanda al viento, y una cola de composición preponderantemente polvorosa o cola de polvo, arqueada como la hoja de una cimitarra. Estas últimas, constituidas por granos sólidos liberados por el núcleo, no son arrastradas en dirección opuesta al Sol por el viento solar (que estando formado por protones y electrones, no los habría llevado), sino por la presión de la luz solar. Las colas de los cometas tienen una longitud de varios millones de kilómetros. 4) El halo. Es una inmensa envoltura de hidrógeno formada por la disociación del agua que cubre cada elemento del cometa núcleo, cabellera y cola, extendiéndose por millones y millones de kilómetros. Es visible desde la Tierra, porque emite preferentemente rayos ultravioletas que son absorbidos por nuestra atmósfera. Ha sido descubierto en los años 70 por los satélites artificiales lanzados con fines científicos. Órbitas: Contrariamente a los planetas que tienen órbitas casi circulares, o elípticas con una pequeña excentricidad, y cuyos planos orbitales son casi coplanares, los cometas recorren órbitas muy elípticas o incluso parabólicas e hiperbólicas y con planos orbitales inclinados. Del estudio estadístico de las órbitas cometarias, el astrónomo holandés Jan OORT formuló en 1950 la hipótesis, hoy comúnmente aceptada, que los núcleos de los cometas son recogidos en una cáscara esférica de 2,4 AL de diámetro, que, como un enorme capullo, envuelve a nuestro sistema solar. De aquí, a causa del paso de alguna estrella próxima, algunos núcleos serían impulsa-

dos, de tanto en tanto, en dirección al Sol, hacia el cual se desplazarían viajando durante centenares de miles de años. Llegados a la proximidad de los planetas, los núcleos experimentarían la influencia gravitacional de los gigantes Júpiter y Saturno y sus órbitas serían transformadas. De esta manera se formarían cometas de corto periodo, caracterizados por periodos orbitales inferiores a 200 años, y cometas de largo periodo, con periodos orbitales superiores a 200 años. Sin embargo, no todos los cometas provenientes de la nube de Oort se convierten necesariamente en cometas periódicos: algunos pueden salir del sistema solar y perderse para siempre en los espacios exteriores. Número y visibilidad. A partir del momento en que se tienen noticias históricas hasta 1982, los cometas observados son poco más de 1.000. Alrededor del 30 % de estas apariciones se refiere, sin embargo, a los retornos de cometas periódicos como el Halley. Los cometas descubiertos por primera vez en todo este tiempo son, por lo tanto, poco más de 700. Las estadísticas dicen que, de los 1.000 cometas aparecidos hasta ahora, uno cada tres años es visible a simple vista, pero sólo uno cada 10 años alcanza luminosidad tal como para imponerse a la atención de todos los terrestres. Entre los cometas más espectaculares de los últimos años recordemos el Ikeya-Seki de 1965 y el Bennet de 1970. Desde ahora se prevé que el próximo acercamiento del Halley en 1986, no será muy favorable para la observación. Al contrario de lo sucedido en 1910, el cometa podrá ser visto con dificultad desde las latitudes europeas. En cambio será mucho más fácil su observación desde el hemisferio Sur. Nomenclatura. Los cometas nuevos toman el nombre de sus descubridores, por lo general los primeros tres que demuestran haberlo avistado. En las efemérides astronómicas también se indican con una sigla provisional, formada por el año del descubrimiento seguido de una letra que indica el orden del descubrimiento (por ejemplo el Bennet tenía 1969 i); o bien una sigla definitiva formada por el año del paso por el perihelio seguido de un número romano que indica el orden del paso por el perihelio (por ejemplo: la sigla definitiva del Bennet se convirtió en 1970 II, porque fue el segundo cometa que pasó por el perihelio aquel año). Los descubridores de cometas son, mayoritariamente, astrónomos aficionados que rastrean cada noche el cielo a la búsqueda de nuevos cometas. Entre los más famosos de nuestros tiempos están el japonés Tsutomu Seki y Minoru Honda, y el australiano James BRADFIELD. Habitualmente están en contacto con una organización internacional, la Oficina de Telegramas de la International Astronomical Union, que tiene como función recibir las indicaciones de un descubrimiento y verificarlo. Corresponderá pues a esta organización, una vez verificado el descubrimiento, darle el nombre al nuevo cometa. Los cometas periódicos redescubiertos en un nuevo retorno, como el Halley, que ha sido nuevamente avistado mientras se acercaba al Sol el 16 de octubre de 1982 antes de su paso por el perihelio el 2 de febrero de 1986, obviamente conservan el nombre de su primer descubridor. A este propósito recordemos que el Halley fue el primer cometa del que se comprobó su periodicidad. La previsión fue formulada en 1682 por el célebre astrónomo inglés quien, estudiando las órbitas de antiguos cometas, se dio cuenta de que algunas se asemejaban y podían ser interpretadas como los sucesivos pasos del mismo objeto celeste. Él previó el retorno de aquél para 1758. HALLEY murió en 1742 y su profecía se cumplió puntualmente, el 25 de diciembre de 1758, cuando el mismo cometa apareció en el cielo. En este caso, aunque HALLEY no es el descubridor material, el cometa lleva igualmente su nombre en honor de su gran contribución al estudio de estos astros.

Comsat (satélites). Sigla de la Communications Satellite Corporation, una sociedad americana fundada en 1963 para la gestión comercial de los satélites de telecomunicaciones. Entre estos, debe destacarse la famosa serie de los Intelsat: los satélites de telecomunicaciones internacionales que proporcionan conexiones comerciales a todos los países del mundo que lo requieren. Comsat es también una forma abreviada para indicar un satélite genérico de telecomunicaciones.

Condritos. Constituyen el tipo de meteoritos más abundantes caídos en la Tierra y recuperados por los estudiosos. Para dar una referencia cuantitativa, bastará decir que poco más del 90 % de los meteoritos en contrados son de tipo pétreo o litoideo y que, de estos, más del 90 % pertenece a la clase de los condritos. Se llaman así por la presencia, en el interior del fragmento meteorítico, de pequeñas inclusiones esferoidales con un diámetro medio de un milímetro, llamadas cóndrulos, que están formados por minerales como olivinos y piroxenos.

Cónica. Es una curva que se obtiene cortando un cono con un plano que no pasa por su vértice. El resultado consiste en cuatro tipos de curvas o cónicas: el círculo, la elipse, la parábola y la hipérbola. Cualquier cuerpo que se mueva en el espacio bajo la influencia de la gravedad, recorre, como se ha demostrado analíticamente por medio de la ley de gravitación universal de NEWTON, una trayectoria que tiene la forma de una cónica.

Conjunción. Es un término adoptado para indicar la posición relativa entre dos o más cuerpos celestes. Un planeta se dice en conjunción con una estrella cuando pasa delante de ésta en la inmediata aproximación. Naturalmente se trata de un efecto de perspectiva, puesto que las estrellas están mucho más distantes que los planetas del sistema solar con respecto a la Tierra; y, sin embargo, el observador terrestre puede ver los dos cuerpos superpuestos o el uno al lado del otro. Los planetas cuya órbita es interior con respecto a la de la Tierra (Mercurio y Venus), pueden estar en conjunción inferior cuando se encuentran entre el Sol y la Tierra, o en conjunción superior cuando se encuentran al otro lado del Sol con respecto a la Tierra. En cambio, los planetas cuyas órbitas son externas con respecto a la de la Tierra (Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón), pueden encontrarse, obviamente, sólo en conjunción superior. Cuando, en el caso de conjunción inferior, un planeta como Mercurio o Venus está perfectamente alineado con el Sol y con la Tierra, podemos verlo pasar como un pequeño punto negro sobre el disco del Sol. Este hecho se define tránsito. Y así, cuando cualquier planeta en conjunción superior se encuentra exactamente alineado con el Sol y con la Tierra, quiere decir que está escondido detrás del disco del Sol. El término conjunción no significa, sin embargo, que necesariamente la Tierra, el Sol y el planeta en cuestión deban estar exactamente alineados, sino que ocupan aproximadamente el tipo de configuración descrita. Recordemos que los planos orbitales de los planetas están ligeramente desfasados el uno con respecto al otro.

Comensurabilidad. Dos períodos orbitales, cuya relación es igual a un número entero pequeño, son definidos comensurables o en resonancia. Por lo tanto, la comensurabilidad es una relación particular entre los períodos orbitales de dos o más cuerpos celestes. Las consecuencias dinámicas que se manifiestan entre dos cuerpos con períodos orbitales con-

mensurables son en realidad notables: de hecho llegarán a ocupar periódicamente la misma posición relativa a lo largo de sus propias órbitas, influyéndose recíprocamente desde el punto de vista gravitacional. Situaciones de este tipo se han encontrado en el cinturón de los Asteroides, donde todos aquellos cuerpos que tenían períodos orbitales conmensurables con Júpiter han sido expulsados, dando lugar a vacíos llamados "lagunas de Kirkwood" por el nombre del astrónomo que las estudió. También la división de Cassini (\rightarrow *Cassini, división de*) se debe a efectos de conmensurabilidad entre las partículas que componen los anillos y el planeta.

Constante solar. Es la cantidad de energía que una unidad de superficie colocada más allá de nuestra atmósfera recibe del Sol. El valor medio de la constante solar es de 2 calorías al minuto por cm^2 y equivale aproximadamente a 1,3 kilovatios. La constante solar varía en algunos puntos un tanto por ciento, según el desarrollo de la actividad solar. Para mayor precisión \rightarrow *Sol*.

Constelaciones. Son grupos de estrellas que no tienen necesariamente vínculos físicos o de proximidad y que son consideradas en conjunto para facilitar su reconocimiento. Desde la antigüedad, los pueblos orientales, los griegos, los latinos, etc., atribuyeron a cada constelación semblanzas humanas o animales. Así tenemos la Osa Mayor, la Osa Menor, Hércules, Andrómeda, los Lebreles, etc. Se trata de figuras que no son completamente abstractas, pero que pueden lograrse, con un poco de imaginación, uniendo idealmente por medio de segmentos, las estrellas que forman parte de la constelación. El primero en agrupar orgánicamente las estrellas en las constelaciones fue el astrónomo Claudio TOLOMEO (90-168 d. J.C. aproximadamente) en su obra, el "Almagesto". Otros hombres famosos por clasificar constelaciones han sido: Johann Bayer (1572-1625), Johannes Hevelius (1611-1687), Nicolas de la Caille (1713-1762) y Jerome de La Lande (1732-1807). En el siglo XX, entre 1922 y 1928, todo este material fue ordenado por la Unión Astronómica Internacional (IAU), que ha subdividido a todas las estrellas de la esfera celeste en 88 constelaciones, estableciendo nombres y límites. Las denominaciones corresponden, en parte, a las definidas en la antigüedad. En las publicaciones científicas se ha convenido citar siempre el nombre latino en el nominativo o bien en el genitivo. Así, por ejemplo, se dirá que Sirio, la estrella más luminosa del cielo, se encuentra en la constelación del Canis Major (Can Mayor) o bien, dado que por convención la estrella más luminosa de cada constelación se indica con la primera letra del alfabeto griego, se hará referencia a ella como a " α Canis Majoris" (α del Can Mayor). A causa del movimiento de revolución de la Tierra alrededor del Sol, la posición de las constelaciones cambia ligeramente de noche en noche: por consiguiente, en lo que respecta a cada lugar de la Tierra, existen constelaciones que son típicas de cada estación. En la tabla de la página 263 se encuentran las definiciones en latín y en castellano de las 88 constelaciones; a la vez se proporcionan datos sumarios de la etimología de su nombre y de los objetos notables (estrellas, nebulosas, etc.) contenidos en cada una de ellas.

Coordenadas celestes. Así como la posición de un punto sobre la esfera terrestre puede determinarse por dos coordenadas, la "latitud" (o distancia angular del Ecuador) y la "longitud" (o distancia angular desde el meridiano de referencia o de Greenwich), también la posición de un astro

puede determinarse por un par de coordenadas sobre la esfera celeste. Esta es la esfera ideal en la cual el observador se imagina estén colocados los cuerpos celestes. Los sistemas más utilizados de coordenadas celestes son dos: 1) Sistema de coordenadas ecuatoriales. Para describir este sistema imaginemos la esfera celeste con la Tierra en el centro. La proyección del Ecuador terrestre sobre ella toma el nombre de "ecuador celeste"; los polos Norte y Sur de la Tierra, proyectados sobre la esfera celeste, toman el nombre de "polos celestes"; la proyección de la órbita de la Tierra alrededor del Sol toma el nombre de eclíptica (que coincide, obviamente, con la trayectoria aparente que el Sol realiza en un año sobre el paisaje de las constelaciones). El punto de cruce de la eclíptica con el Ecuador celeste es llamado "Equinoccio de primavera" o "primer punto de Aries" y corresponde al punto en el que se encuentra el Sol a comienzos de la primavera. El círculo máximo que pasa por este punto y por los polos celestes Norte y Sur es tomado como círculo horario de referencia (como el meridiano de Greenwich en la Tierra). Definidos estos elementos de referencia, las dos coordenadas del sistema ecuatorial son: la ascensión recta o " α ", que es la distancia angular entre el círculo horario que pasa por el astro y el círculo horario de referencia, y que se mide en horas, minutos y segundos en sentido horario (corresponde a la longitud terrestre), la declinación o " δ ", es decir la distancia angular de un astro con respecto al ecuador celeste. Esta es positiva para los astros al Norte del ecuador y negativa para los del Sur (corresponde a la latitud terrestre). En todos los catálogos estelares las posiciones de las estrellas se definen con este sistema de coordenadas que, prescindiendo de las mutaciones seculares debidas al movimiento propio de las estrellas y a las oscilaciones del eje terrestre, no varían en cortos plazos de tiempo. Sin embargo, para tener en cuenta las variaciones seculares de las coordenadas, los catálogos estelares también indican la época de las coordenadas. 2) Sistema horizontal. De comprensión más inmediata para un observador terrestre, es este sistema el que proporciona las coordenadas instantáneas de un astro. Sus puntos de referencia son: el círculo máximo que coincide con el Horizonte del lugar de observación y que pasa por el Norte y el Sur y por el Cenit, llamado meridiano celeste. Fijadas las referencias, las coordenadas del sistema horizontal son: la altura h , que es la distancia angular de una estrella sobre el horizonte (en la comparación con las coordenadas terrestres, corresponde a la latitud) y que se mide de 0° a 90° , el acimut, que es la distancia entre el círculo vertical que pasa por la estrella y el meridiano celeste. Habitualmente se mide de 0° a 360° a partir del Norte en sentido horario. En este sistema, a causa de la rotación de la Tierra, las coordenadas no determinan permanentemente la posición de una estrella, como en el sistema precedente, sino que sólo se refieren a la posición que ocupa en un instante de tiempo determinado.

COPÉRNICO, Nikolaus. 1473-1543 Astrónomo polaco a quien se debe la formulación de la teoría heliocéntrica, es decir el haber desplazado el centro del Universo desde la Tierra al Sol, encaminando esa revolución que, en el término de dos siglos, a través de la contribución de GALILEO, KEPLER y NEWTON, conducirá a una renovación total de las bases de la astronomía. La centralidad del Sol no es una idea original de COPÉRNICO, ya fue adelantada por los antiguos filósofos griegos desde el siglo III a. J. C. En la antigüedad, el más importante sostenedor de un sistema heliocéntrico del Universo fue ARISTARCO de Samos quien, tomando las concepciones de Heraclides del Ponto, afirmó que todos los plane-

tas, comprendida la Tierra, giran alrededor del Sol. En la época de COPÉRNICO aún imperaba el sistema de Claudio TOLOMEO quien negaba a la Tierra cualquier movimiento, tanto de revolución como de rotación alrededor de su propio eje, y la ponía en el centro de las rotaciones realizadas por los planetas y el Sol a su alrededor. Para explicar el movimiento de las estrellas, TOLOMEO las imaginaba fijas a una esfera celeste que también estaba animada de un movimiento rotatorio. El sistema tolemeico estaba complicado con otros mecanismos. Por ejemplo, para explicar el estacionamiento y el movimiento retrógrado de los planetas en determinados períodos del año, el astrónomo griego debió atribuir a cada planeta dos movimientos: uno circular (epiciclo) alrededor de un punto; el otro, desde este punto sobre una órbita circular, pero excéntrica, con respecto a la Tierra inmóvil (excéntrico). COPÉRNICO se dió cuenta que el movimiento de los astros es una mera apariencia: en su obra más importante "De revolutionibus orbium coelestium", publicada en el año de su muerte, dice: "...cuando un barco navega sin sacudidas, los viajeros ven moverse, a imagen de su movimiento, todas las cosas que les son externas y, a la inversa, creen estar inmóviles con todo lo que está con ellos. Ahora, en lo referente al movimiento de la Tierra, de manera totalmente similar, se cree que es todo el Universo íntegro el que se mueve alrededor de ella..." COPÉRNICO, contra lo que pueda pensarse, fue inducido a abandonar el sistema tolemeico, porque se dio cuenta que los resultados de sus observaciones astronómicas diferían de las posiciones de los astros calculadas según aquél sistema. Por lo tanto, desplazó el origen de las rotaciones del centro de la Tierra al centro del Sol, sin renunciar sin embargo a los movimientos circulares. Pero aún acercándose de esta manera a la realidad, no logró encontrar la razón de los movimientos aparentes de los astros, por lo cual tuvo que recurrir a los epiciclos. Será mérito de KEPLER, algunos años más tarde, intuir la forma elíptica de las órbitas y archivar para siempre los complicados esquemas epicicloidales. La biografía de COPÉRNICO presenta muchas lagunas e incertidumbres, a partir de su nacionalidad que, según algunos estudiosos, no es polaca sino alemana. Nace probablemente en 1473 en la ciudad libre de Thorn, entonces en territorio polaco, y después de haber realizado los estudios en la universidad de Cracovia, fue a perfeccionarse a Italia, donde se quedó durante ocho años, entre 1496 y 1503, frecuentando los ateneos de Bolonia, Roma, Padua, y Ferrara. Típico exponente de la cultura del renacimiento, se interesó en muchas disciplinas: medicina, teología, derecho canónico y astronomía. Conocía perfectamente el latín y el griego y estudió a los clásicos directamente en las fuentes. En Bolonia realizó observaciones astronómicas junto con D.M. Novara, titular de aquella cátedra de astronomía. En 1505 volvió a su patria donde obtuvo una canonjía en Frauemburg. Algunos años más tarde heredó bienes de su tío obispo y se aseguró una vida desahogada. Durante veinte años, desde 1509 a 1529, COPÉRNICO acumuló observaciones astronómicas y medidas para confirmar su teoría heliocéntrica. En 1533 circulaba un resumen de ésta con el título "Commentariolus", que llegó a las manos del Papa Clemente VII. Recibió, por parte de varios estudiosos, exhortaciones y estímulos para publicar su obra completa en seis libros y, después de muchas resistencias, se decidió a confiar el manuscrito a su amigo Tiedmann Giese, obispo de Kulm, que encargó al pastor luterano Andre Osiander realizar la impresión en Nuremberg. Este, temiendo el impacto de la nueva doctrina sobre la cultura de la época, escribió por iniciativa propia un prefacio a la obra en el que advertía al lector que las ideas del autor debían considerarse puras

hipótesis, no necesariamente verdaderas y ni siquiera verosímiles. COPÉRNICO no leyó este prefacio, ahorrándose así una aflicción más; el libro fue publicado poco después de su muerte el 24 de mayo de 1543. El "De revolutionibus" se convertirá en el punto de partida sobre el que Galileo GALILEI basará su batalla para la reforma de la astronomía.

Copérnico (satélite). Es el nombre de un satélite artificial, el tercero de la serie OAO (Orbiting Astronomical Observatory), que ha llevado al espacio un telescopio reflector de 80 cm de diámetro para estudiar objetos estelares y moléculas interestelares con luz ultravioleta. Estas radiaciones, como es sabido, son absorbidas por la atmósfera terrestre y resulta por lo tanto necesario situarse por encima de ella para examinarlas. El "Copérnico", lanzado en 1972, ha permitido determinar, con mayor precisión de cuanto es posible hacerlo desde la Tierra, la energía emitida por los objetos celestes en las frecuencias más altas del espectro. Entre otras cosas, descubrió en 1978 el objeto celeste V 861 Scorpii.

Coriolis (fuerzas de). Son fuerzas aparentes, responsables de la desviación de la trayectoria de un cuerpo que se mueve sobre una superficie que rota. En la Tierra, por ejemplo, la trayectoria de un objeto, como un hipotético proyectil disparado desde el Ecuador hacia el polo Norte, en lugar de ir en línea recta, se desvía hacia el Este. Obviamente, si la trayectoria va desde el Ecuador hacia el polo Sur, la fuerza de Coriolis impulsa al cuerpo en dirección Oeste. Este fenómeno es debido al hecho de que la velocidad de rotación, con la que está animado un cuerpo en el Ecuador, es mayor que la que posee el propio cuerpo en proximidad de los polos. Las fuerzas de Coriolis tienen una notable importancia en la circulación atmosférica y deben tenerse en consideración en los cálculos sobre el movimiento de los misiles. Su nombre se debe al físico francés Gaspard Gustave de Coriolis (1792-1843) que fue el primero en estudiarlas. Junto con Poncelet, Coriolis fue uno de los científicos que más contribuyeron en aquella rama de la mecánica racional hacia los estudios prácticos, de la que seguidamente nace la mecánica aplicada.

Corona solar. Es la parte más exterior de la atmósfera solar, constituida por gases a altísimas temperaturas, alrededor de 2 millones de grados. Se extiende desde unos 16.000 km sobre la Fotosfera (la superficie visible del Sol) hasta unos cuantos millones de km más arriba. Se trata de una verdadera atmósfera rehirviendo, que se extiende en dirección radial dando vida a ese flujo de partículas, llamado Viento solar, que inunda todo espacio interplanetario. La corona se hace visible a simple vista durante los eclipses totales de Sol, apareciendo como una sugestiva luminosidad de color blanco-perla alrededor del disco del Sol oculto por la Luna (→Sol).

Coronógrafo. Es un instrumento que sirve para el estudio de la Corona solar, incluso cuando no hay eclipse de Sol. En condiciones normales, la luz emanada del disco solar es tal como para sobrepasar la tenue luminosidad de la corona y para impedir su observación tanto a simple vista como con instrumentos ópticos. Está constituido por un pequeño disco llamado "disco de ocultación", situado en el interior del telescopio, que intercepta la imagen del Sol ocultándola. En la práctica, el instrumento no hace otra cosa que producir un eclipse artificial, haciendo visible la corona. Por lo tanto el astrónomo puede observarla directamente, o bien fotogra-

fiarla. El coronógrafo fue inventado en 1930 por el científico francés, Bernard Lyot (1897-1952).

Cósmicos (rayos). Son partículas atómicas que llegan a la Tierra desde el espacio y cuyo origen, aunque aún no está perfectamente determinado, puede encontrarse en la actividad de las estrellas y de objetos de tipo estelar. Alrededor del 90 % de los rayos cósmicos están formados por núcleos de hidrógeno, es decir de protones; un 90 por 100 de núcleos de helio, o bien de partículas " α " (\rightarrow Alfa, *partículas*), como se suelen llamar los núcleos de helio; y apenas un 1 % de núcleos de otros elementos. Flujos de electrones libres, con alta energía, mezclados con ese tipo de partículas, son clasificados también como rayos cósmicos. Sus características principales son: las altas velocidades a las que viajan en el espacio cercanas a las de la luz, y la alta energía de la cual están dotados. La energía de una partícula se mide en múltiplos o submúltiplos del electronvoltio (eV). El eV es la energía de la que está dotado un electrón cuando es acelerado por un potencial eléctrico de un voltio. Para tener un término de comparación, decimos que la energía de las moléculas de aire a temperaturas normales es de 0,1 eV, mientras la energía de los rayos X de un equipo médico es de 10.000 eV. Los grandes aceleradores de partículas utilizados por los físicos para romper los componentes del átomo, alcanzan energías de 100 mil millones de eV. Los rayos cósmicos pueden alcanzar energías máximas de 10 trillones de eV (1919 eV). En lo que respecta al origen de los rayos cósmicos, una parte de ellos es seguramente emitida por el Sol y se caracteriza por la baja energía. Su emisión, además, está sujeta al ciclo de once años de la actividad solar (\rightarrow Sol). Los flujos más imponentes de rayos cósmicos provienen en cambio de las profundidades del espacio y parece que la alta energía de la que están dotados la adquieren durante acontecimientos como la explosión de supernovas. En las fases que acompañan a estos hechos catastróficos, las partículas son aceleradas por fuertes campos eléctricos y son lanzados al espacio circunstante. Tratándose de partículas eléctricamente cargadas, los rayos cósmicos son desviados por campos magnéticos generados por los diferentes cuerpos celestes. A veces permanecen interpolados en tales campos magnéticos y, moviéndose en espiral a través de ellos, generan emisiones electromagnéticas. Otras veces la energía de la que están dotados es tal como para hacerlos huir de los potentes campos magnéticos estelares o galácticos, haciéndoles atravesar inmensas regiones espaciales. Los rayos cósmicos que llegan a la proximidad de la Tierra también son desviados del campo magnético terrestre y se dirigen preferentemente hacia las regiones polares. Estos rayos cósmicos, llamados "primarios", no llegan habitualmente a la superficie terrestre, sino que chocan contra las moléculas de la alta atmósfera, disociándolas y generando una cascada de partículas llamadas radiación cósmica "secundaria", que llega a la superficie terrestre y puede captarse y estudiarse con instrumentos. El estudio de la radiación "primaria" se realiza, en cambio, por medio de globos sonda lanzados a gran altura y por los satélites artificiales. Los rayos cósmicos tienen una notable influencia sobre las células vivas: producen mutaciones en la materia genética, hasta el punto de pensar que tienen un papel fundamental en los procesos evolutivos de las especies. Algunos estudiosos comparten la hipótesis que las grandes extinciones ocurridas sobre la Tierra entre el Cretáceo y el Terciario, hace unos 65 millones de años, fueron causada por la explosión de una supernova cercana que lanzó hacia la Tierra un flujo mortífero de rayos cósmicos. A este acontecimiento podría deberse la desaparición de los dinosaurios que tantas

teorías ha suscitado y que, sin embargo, aún permanece envuelta en el misterio.

Cosmogonía. Es la rama de la Astronomía que estudia el origen y evolución de los grandes sistemas como las Galaxias los Cúmulos estelares, etc., con el fin de determinar la edad del Universo. Se diferencia de la Cosmología, aunque luego converge en ella, porque esta segunda disciplina se ocupa del origen y evolución del Universo considerado en su totalidad. Las principales teorías sobre el nacimiento de nuestro Universo y sobre su futuro, hasta la estructura que hoy conocemos, son tratados por la Cosmología.

Cosmología. Es la ciencia que estudia la historia y la estructura del Universo en su totalidad. El nacimiento de la cosmología moderna puede situarse en 1700 con la hipótesis que las estrellas de la Vía Láctea (la franja de luz blanca visible en las noches serenas de un extremo a otro de la bóveda celeste), pertenecen a un sistema estelar de forma discoidal, del cual el propio Sol forma parte; y que otros cuerpos nebulosos visibles con el telescopio son sistemas estelares similares a la Vía Láctea, pero muy lejanos. Estas consideraciones, desarrolladas por los científicos del siglo XVIII como Thomas Wright de Durham (1711-1786), Johann Lambert (1728-1777) y Emmanuel KANT (1742-1804), junto con las determinaciones de las paralajes estelares, y por lo tanto de las distancias de las estrellas a nosotros, ampliaron enormemente los confines del Universo, que las cosmologías clásicas y medievales habían limitado a nuestro sistema solar. Correspondió al gran astrónomo Sir William HERSCHEL (1738-1822) demostrar, a través de cálculos estelares, que la hipótesis de los cosmólogos más importantes del siglo XVII eran correctas. Alrededor de un siglo después, otro gran avance a la comprensión de nuestra situación en la Galaxia fue aportado por el astrónomo Harlow Sharpley quien, en 1918, pudo calcular que el Sol no ocupa una posición central, sino periférica. Sólo hacia mediados del siglo XX, en cambio, se han tenido las pruebas de que nuestra Galaxia tiene forma de espiral y que, un observador externo, la vería como se nos aparece a nosotros la nebulosa de Andrómeda. Un capítulo nuevo de la cosmología se abre a comienzos de este siglo con la formulación por parte de EINSTEIN (1879-1955) de la teoría general de la relatividad. Aplicando las ecuaciones de campo einsteinianas, el físico Alexander Friedmann demostró que la materia del Universo debía encontrarse en un estado de expansión o de contracción. Pocos años después, en 1929, el astrónomo Edwin HUBBLE descubrió un fenómeno que algunos cosmólogos interpretaron como una confirmación a la hipótesis de Friedmann. En efecto, HUBBLE, midiendo los desplazamientos hacia el rojo de lejanas galaxias, debido al efecto Doppler, se dió cuenta que éstos eran proporcionales a la distancia del objeto observado, de lo cual dedujo que las galaxias se alejan tanto más rápidamente cuanto mayor es su distancia. Si la materia del Universo está en rápida expansión, en el pasado debía estar concentrada en un espacio muy restringido. De este tipo de consideraciones ha nacido la cosmología del Big-Bang, que hoy representa la teoría del nacimiento y de la evolución del Universo más acreditada. Según ella, en una época que se sitúa entre hace 15 y 20 mil millones de años (tiempo calculado en base al porcentaje de expansión de las galaxias) tuvo lugar una gran explosión de energía, a partir de la cual la materia en formación y evolución fue lanzada en todas direcciones. El descubrimiento de una Radiación cósmica de fondo, a 2,7° Kelvin, que representaría la "ceniza" de la gran explosión primordial, es interpretada como una confirmación de esta teoría, mientras

ha sido prácticamente abandonada otra teoría formulada en los años 40, llamada del Estado estacionario, según la cual el Universo siempre ha existido y siempre existirá.

Cosmos (satélites). Numerosa serie de satélites soviéticos, aún en pleno desarrollo, dedicados a los fines más variados: geofísica, reconocimiento de los recursos terrestres, usos militares entre los cuales se halla la interceptación y destrucción de otros satélites en órbita, comunicaciones, meteorología y estudio de la atmósfera, biología, etcétera. El "Cosmos 1" fue lanzado el 16 de marzo de 1962 y después siguieron centenares de satélites de la misma serie. Algunos, a causa de desperfectos, han caído a tierra causando gran preocupación y alarma, ya que su dispositivo energético está constituido por una batería atómica. Un "Cosmos" típico consiste en un cilindro de 1 m de diámetro y 2 m de alto con un peso aproximado de 500 kg.

Cráteres. Son depresiones de forma circular o elíptica en la costra sólida de los planetas, causadas por el impacto de cuerpos celestes como los Asteroides, los Cometas y los Meteoritos. Todos los cuerpos del sistema solar caracterizados por una costra sólida (los planetas Mercurio, Venus, Tierra, Marte y muchos satélites naturales de éstos), han sido intensamente bombardeados por los cuerpos mencionados en las primeras fases de formación del sistema solar. En aquella época, alrededor de cuatro mil millones de años atrás, el espacio alrededor del Sol estaba lleno de detritos de diversos tamaños y consistencia, representando el residuo de los procesos de condensación de la nebulosa solar primordial. Atraídos por las fuerzas de gravedad de los cuerpos más grandes neo-formados, estos residuos se precipitaban con violencia sobre ellos excavando los cráteres. Los proyectiles más grandes lograban romper la costra, enfriada y consolidada desde hacía poco tiempo, provocando la salida de la lava subyacente; los más pequeños se limitaban a excavar modestas depresiones. En épocas sucesivas el bombardeo mermó, pero hoy todavía es posible que fragmentos residuales provoquen cráteres. En todos los cuerpos celestes carentes de una atmósfera consistente y de procesos geológicos activos, los signos de los cráteres han quedado inmutables aún cuando han transcurrido miles de millones de años. En la Tierra y en los otros planetas dotados de una rica atmósfera y geológicamente activos, el complejo de fenómenos dinámicos ha erosionado y borrado la mayor parte de estas antiguas cicatrices. Los pocos cráteres de los que aún quedan trazas sobre la Tierra se estudian con gran atención desde mediados del siglo XX. Un balance realizado a finales de los años 70 ha llevado a su subdivisión en tres grupos: 1) Cráteres probados, con fragmentos de meteoritos. Se trata de 13 estructuras de pequeñas dimensiones (máximo 1.200 m de diámetro) y de joven edad geológica (de dos millones de años a esta parte). El más famoso de ellos es el Barringer Crater de Arizona, una cavidad de 1.200 m de diámetro, 180 m de profundidad y con un borde levantado alrededor de 40 m con respecto al suelo circundante. Se encuentra entre las ciudades de Winslow y Flagstaff, en un desierto cuyo substrato está compuesto de elementos calcáreos y arenosos. Fue producido algunos miles de años atrás por un meteorito metálico de 300 m de diámetro y algunos millones de toneladas de peso. El cuerpo principal de este fragmento cósmico se pulverizó a causa de la tremenda energía producida por el impacto, dejando sin embargo numerosos fragmentos esparcidos debajo y alrededor del cráter. La formación más reciente de este grupo de cráteres es la de Sikhote-Alin, en Siberia; está constituida por 122 pequeñas cavidades producidas por un meteorito fragmen-

tado en infinidad de partes y caído el 12 de febrero de 1947. 2) Cráteres probables, sin fragmentos de meteoritos, pero en el que hay variedades de cuarzo que se generan como consecuencia de altas temperaturas y presiones causadas por violentos impactos. A este grupo pertenecen 78 cráteres de grandes dimensiones, de 1 a 140 km de diámetro, y de edad muy variada. Los más antiguos se remontan a dos mil millones de años y se encuentra en Vredefort, Sudáfrica, y en Sudbury Canadá Ambos tienen un diámetro de 140 km y son comparables a los cráteres más grandes de la Luna. 3) Cráteres posibles, carentes de fragmentos meteoríticos, así, como también de minerales que demuestren un impacto, pero presentando una estructura geológica similar a la de un cráter de impacto. Este grupo comprende 50 estructuras de hasta 50 km de diámetro y de diversas edades. El más antiguo se encuentra en Canadá, próximo al lago Quebec. La distribución sobre el mapa geográfico de los principales cráteres terrestres hasta ahora determinados muestra su concentración en el hemisferio Norte. Desde el momento en que no hay ninguna razón preferencial por la cual los impactos deban haber afectado a este hemisferio, se considera que el fenómeno es atribuible a que las investigaciones se han desarrollado con preferencia en los continentes norteamericano y europeo.

Crepúsculo. El crepúsculo genéricamente entendido es esa claridad que precede la salida del Sol o sigue a su puesta. En cambio, se define como crepúsculo astronómico ese intervalo de tiempo que el Sol, antes de salir, emplea en pasar de la posición de 18° por debajo de la línea del horizonte a la propia línea del horizonte; o el intervalo de tiempo que el Sol, después de la puesta, emplea en pasar de la línea del horizonte a la posición de 18° por debajo de esa línea. Así como la inclinación del Sol varía con las estaciones y con la latitud, también la duración del crepúsculo astronómico varía. Los almanaques astronómicos proporcionan las tablas para calcular la duración que es indispensable para conocer cuando se deben efectuar las observaciones astronómicas: inmediatamente después del ocaso o poco antes de la salida del Sol. Efectivamente, el cielo está completamente oscuro y todas las estrellas son perfectamente visibles (sin contar con nieblas y nubes) sólo cuando el Sol está 180 por debajo del horizonte.

Crimea (observatorio astrofísico de). Es uno de los observatorios soviéticos más importantes, situado en Simféropol, en la península de Crimea, a una altura de 560 m. Su principal instrumento consiste en un reflector de 2,60 m de diámetro. También está dotado de un radiotelescopio tipo RT-22 con una gran antena parabólica de 22 m de diámetro.

Cromosfera. Es una capa de aproximadamente 16.000 km que se extiende por encima de la superficie visible del Sol, o Fotosfera, y está limitada superiormente por la atmósfera solar, o Corona. No se puede ver en condiciones normales a causa de la débil luz que emite y sólo se evidencia durante los eclipses de Sol, o bien con un instrumento apropiado llamado Coronógrafo. Las temperaturas de la cromosfera varían aproximadamente desde 6.000 °C, en el punto en que limita con la subyacente fotosfera, a más de 1 000.000 °C en las capas superiores lindantes con la corona. La cromosfera no es una capa homogénea, sino que revela una estructura hispida, una selva de lenguas de luces similares a llamas (las llamadas espículas); su nombre se debe a la luz rosada y roja emitida por los átomos de hidrógeno que la componen (emisión de H a).

Cuadrante. Antiguo instrumento astronómico consistente en un cuarto de círculo metálico graduado de 0° a 90° , que servía para medir la altura de los astros sobre el horizonte. A partir del siglo XVIII, con el fin de aumentar la precisión de las medidas, en lugar de apoyar el cuadrante sobre un trípode se prefirió adosarlo a un muro vertical orientado en dirección Norte-Sur. Este y otros instrumentos análogos, a veces de grandes dimensiones, constituían el equipo de los astrónomos antes del advenimiento de la astronomía óptica.

Cuadrántidas. Es una de las principales lluvias de meteoros anuales visible entre el 1 y el 4 de enero, con un máximo en la noche del 3 al 4 de enero. En el momento de máxima frecuencia se puede llegar a ver una o más trazas luminosas por minuto. Este enjambre toma el nombre de una constelación ahora ya inexistente, el Cuadrante Mural (nombre de un antiguo instrumento astronómico).

Cuadratura. Es una posición astronómica particular de un planeta o de la Luna, vistos desde la Tierra, que se logra cuando uno de estos cuerpos se halla a 90° del Sol. La cuadratura puede ser occidental u oriental. La Luna se encuentra en cuadratura en el Primero y Último Cuarto.

Culminación. Es la máxima altura alcanzada por un cuerpo celeste sobre el horizonte. Esta coincide con el momento en que el cuerpo celeste en sí atraviesa el meridiano, es decir, el círculo máximo que pasa por el cenit y que une el Norte con el Sur. Nuestro Sol, por ejemplo, culmina a mediodía.

Cúmulos estelares. Son condensaciones locales de estrellas unidas por fuerzas gravitacionales que aparecen en el cielo como concentraciones de puntos luminosos o, incluso, como tenues nebulosidades. Según su estructura se subdividen en cúmulos abiertos y cúmulos globulares. Los cúmulos abiertos, también llamados por los astrónomos anglosajones cúmulos galácticos (Galactic Clusters), se encuentran en el disco galáctico, es decir en el plano central de nuestra Galaxia, y están caracterizados por una densidad estelar un centenar de veces más elevada que la que se encuentra en las regiones que rodean al Sol; y sin embargo, las estrellas que las componen están relativamente dispersas. El diámetro medio de los cúmulos abiertos es de aproximadamente 10 AL y el número de estrellas que contienen varía desde algunas decenas a algunos miles. Se han observado y clasificado aproximadamente unos 1.000, pero se piensa que en nuestra Galaxia debe haber por lo menos 15.000. Aquellos que se encuentran a una distancia superior a los 5.000 AL de nosotros (recordemos que el disco galáctico tiene un diámetro de 100.000 AL y que el Sol se encuentra aproximadamente a 30.000 AL del centro) no se alcanzan a ver ni siquiera con los más potentes telescopios, porque el polvo galáctico absorbe su tenue luz. (\rightarrow *absorción interestelar*). Según el aspecto que presentan al telescopio, los cúmulos abiertos se dividen en cuatro clases: Clase I: fuerte densificación central; resaltando netamente sobre el fondo del cielo estrellado. Clase II: débil densificación central; resaltando sobre el fondo del cielo estrellado. Clase III: carentes de densificación central y sin embargo resaltan sobre el fondo de las otras estrellas Clase IV: leve densificación que no se distingue de las estrellas del fondo. Según el número de estrellas que contienen los cúmulos abiertos se subdividen ulteriormente en: p (de "poor", pobre) = menos de 30 estrellas; m (de "moderately", moderadamente) = entre 50 y 100 estrellas; r (de "rich" rico) = más de 100 estrellas. Por último, de acuerdo a la Magnitud de las estrellas que los

componen, los cúmulos abiertos se subdividen en: 1) con estrellas que tienen la misma magnitud aparente; 2) con estrellas que tienen una moderada variedad de magnitudes; 3) con estrellas de magnitudes tanto elevadas como bajas. Un típico ejemplo de cúmulo abierto está representado por las Pléyades, un grupo de más de 130 estrellas en la constelación del Toro, clasificada según los esquemas arriba indicados como II 3 r. De todas las estrellas del cúmulo, sólo 7 son visibles a simple vista. A poca distancia de las Pléyades hay otro famoso cúmulo abierto, las Híadas, que comprende aproximadamente 150 estrellas, es el más próximo a nuestro Sol y está clasificado como III 3 m. Los cúmulos globulares (Globular clusters) están distribuidos en una región con forma esferoidal, que encierra al disco de nuestra Galaxia, con un diámetro aproximado de 160.000 AL y denominado Halo galáctico. Fue del estudio de la distribución de los cúmulos globulares que el astrofísico Harlow SHAPLEY dedujo, en 1917, las dimensiones y la forma de nuestra Galaxia y la posición de nuestro Sol en su interior. Los cúmulos globulares están caracterizados por una elevada densidad estelar y por una alta concentración de estrellas en la parte central del cúmulo, hasta el punto que en muchos casos resulta imposible, incluso con un potente telescopio, distinguir cada estrella de las que aparecen como una única fuente luminosa. Estos son menos numerosos que los cúmulos abiertos, pero más grandes y más ricos en estrellas. Se conocen alrededor de unos 125 teniendo cada uno dimensiones medias de 100 AL y un número de estrellas comprendido entre 100.000 y 10.000.000. Según la concentración de estrellas en el centro del cúmulo, se subdividen en doce clases. A la I pertenecen aquellos con la máxima concentración; a la XII aquellos con la mínima. Los cúmulos globulares más conocidos y visibles a simple vista son tres: M 13 en la constelación de Hércules (dimensión estelar $5^m,8$, distancia del Sol, 23.000 AL, visible en el hemisferio norte); del Centauro ($3^m,7$, distancia 16.400 AL, visible en el hemisferio austral); 47 del Tucán ($4^m,0$, distante 19.000 AL). Los cúmulos estelares en general, se han revelado como un crisol que contiene estrellas de todos los tipos y edades y, por tanto, son objeto de estudio fundamental para las investigaciones sobre la Evolución estelar. Los cúmulos abiertos, contienen estrellas de joven y media edad pertenecientes a la llamada Población I, similares a las estrellas que caracterizan las zonas circundantes de nuestro Sol. En ellas, gracias a la presencia de gases y polvos interestelares, se hallan en actividad aquellos procesos de condensación de la materia que conducen al nacimiento de nuevas estrellas. Los cúmulos globulares, en cambio, son de antigua formación: unos diez mil millones de años. Las estrellas contenidas en ellos son antiguas, pertenecen a la llamada Población II y representan las primeras en haber nacido durante los procesos que llevaron a la formación de nuestra Galaxia. Sus edades son prácticamente las mismas; lo que varía son sus masas, y, por tanto, resulta interesante estudiar la diferente evolución que experimentaron elementos contemporáneos con relación a la diversidad de su estructura física. En los cúmulos globulares no hay gas interestelar y, por tanto, no existe la materia prima para la condensación de nuevas estrellas. Algunos cúmulos abiertos también son llamados cúmulos en movimiento, porque las estrellas que los componen están animadas por un evidente movimiento hacia un ápice común. Las Pléyades, por ejemplo, se dirigen hacia un punto próximo a la estrella Canopo (constelación de la Quilla) con una velocidad de 5 km/s. Los lados apuntan a 6° Este de Betelgeuse (Constelación de Orión). Así hay grupos de estrellas, que aun estando físicamente muy distantes y no teniendo carac-

terísticas de cúmulo abierto, están animados por un movimiento común y por ello constituyen un cúmulo en movimiento. Un típico ejemplo está representado por 126 estrellas conocidas como el cúmulo en movimiento de la Osa Mayor; forman parte de ella cinco de las siete estrellas del gran Carro: (Merak), y (Phekda), (Megrez), (Alioth), y (Mizar), así como también del Can Mayor (Sirio), aunque esta última se encuentra en la parte opuesta de la bóveda celeste con respecto a las primeras. Nuestro sistema solar está prácticamente en medio de este cúmulo en movimiento y sin embargo no pertenece a él. Las estrellas del cúmulo se mueven hacia un punto entre Sagitario y Microscopio.

Cygnus X-1. Es una intensa fuente de radiaciones considerada como la primera prueba de la existencia de un agujero negro. Se encuentra en la constelación del Cisne y está compuesta de una estrella visible que gira alrededor, de una compañera invisible perdiendo materia. Se piensa que el agujero negro coincide precisamente con esta compañera invisible, la cual succiona en su vórtice gravitacional la materia de la estrella vecina, y que esta materia, calentándose y comprimiéndose, emite los rayos X observados. Se ha calculado que la estrella compañera tiene una masa equivalente a diez veces la del Sol, pero un diámetro menor que una millonésima parte del de nuestra estrella.

D

Dawes (límite). Es una fórmula empírica, determinada por el astrónomo William Rutter DAWES, que da el Poder de resolución de un telescopio, es decir, su capacidad de separar dos objetos muy próximos, como por ejemplo dos estrellas dobles. En la práctica, para conocer la mínima distancia angular en segundos de arco a la cual dos objetos celestes pueden estar separados o resueltos, como se suele decir, por un telescopio de una determinada apertura, basta dividir el número 11 por el diámetro del objetivo expresado en milímetros. En la fórmula original de DAWES, el número es 4,56 el diámetro del objetivo se mide en "inches", pulgadas (1 inch = 2,5 cm). La fórmula, obviamente, es válida en condiciones buenas de Seeing.

DAWES, William Rutter. 1799-1868 Astrónomo inglés, pionero de las observaciones de estrellas dobles, inventor de la fórmula que da el llamado "límite de Dawes", para la determinación del poder de resolución de un telescopio. Desarrolló su actividad en el laboratorio privado de George Bishop en el Regent's Park, Londres. Durante su carrera publicó observaciones relativas a 2.800 estrellas dobles.

Dédalo (astronave). Nombre de una nave estelar a propulsión nuclear (totalmente automatizada, sin tripulación, proyectada por la British Interplanetary Society en los años 70), que en el siglo XXI deberá explorar las estrellas más próximas al Sol en tiempos parangonables a la vida humana y transmitir informaciones sobre la existencia de planetas muy alejados de nosotros. El vehículo Dédalo, con una altura total de 550 m y un peso de 54.000 toneladas, está constituido por las tres partes siguientes: 1) Una primera sección muy grande, consistente en un racimo de seis depósitos esféricos para combustible y una gran trompa de descarga; 2) una segunda sección, mucho más pequeña, con cuatro depósitos para el combustible; 3) un módulo para la carga útil conteniendo: el cerebro electrónico de a bordo, veinte sondas automáticas interplanetarias, una serie de telescopios y otros instrumentos de observación. Según los diseñadores deberá ser montado fuera de la Tierra, posiblemente en las cercanías del planeta Júpiter, en la atmósfera donde podrá abastecerse de deuterio y de helio 3, el combustible nuclear necesario para alimentar el proceso de fusión controlada, a partir del cual se obtendrá un flujo de plasma que impulsará al vehículo a una velocidad de hasta 40.000 km/s, casi el 14 % de la velocidad de la luz. El objetivo propuesto para la primera misión del "Dédalo", no es, como podría pensarse, α Centauro, la estrella más cercana a nosotros (4,3 AL), sino la Estrella de Barnard, la segunda en orden de proximidad (5,9 AL), que se considera debe estar rodeada de planetas. La travesía duraría en total 50 años, durante los cuales el vehículo sería íntegramente controlado por el cerebro electrónico de a bordo: un instrumento sofisticado hasta el punto capaz de coordinar no sólo los hechos corrientes, sino también capaz de intervenir en caso de desperfectos o imprevistos. Desde Tierra, debido a las distancias, sería imposible intervenir en tiempo real sobre los mandos de la astronave, ya que las señales emplearían años para llegar a los centros de control terrestres y

volver al vehículo. Para preservar al Dédalo de los posibles inconvenientes, se han diseñado soluciones absolutamente futuristas. El vehículo está dotado de un cierto número de robots automáticos, provistos de brazos manipuladores y dirigidos por el cerebro electrónico de a bordo, que servirán para reparar los eventuales desperfectos en las estructuras de la astronave. Con el fin de evitar un catastrófico impacto con meteoritos y partículas sólidas encontradas por la astronave durante su velocísima carrera, el Dédalo generará una nube protectora que precederá en aproximadamente 200 km. La cabeza de la astronave y que tendrá la función de disgregar y vaporizar cualquier fragmento cósmico. Poco antes de alcanzar su objetivo estelar, el Dédalo soltará una veintena de sondas planetarias que se dirigirán autónomamente hacia la estrella principal y hacia los eventuales planetas del sistema para fotografiarlos y analizarlos ampliamente desde cerca. Todas las informaciones recogidas por estos aparatos serán transmitidas al computador de a bordo y éste, por último, las transmitirá a la Tierra. Después de haber realizado su misión, Dédalo no retornará hacia la Tierra, sino que continuará viajando hacia otros eventuales objetivos hasta agotar su energía y terminará errando por nuestra Galaxia: se trata, pues, de una astronave no recuperable. Los diseñadores aseguran que, desde el punto de vista tecnológico, el hombre estará en condiciones de producir astronaves del tipo Dédalo en el siglo XXI. Sin embargo, debido a los elevados costos de realización, programas de este tipo sólo serán posibles en el ámbito de amplias cooperaciones internacionales.

Deimos. Es el más pequeño y distante de los dos satélites de Marte. El otro se llama Fobos. Sus características físicas se conocen bien desde noviembre de 1971, fecha en que la sonda automática americana Mariner 9 lo estudió de cerca. Tiene una forma irregular, que recuerda la de una patata con picaduras, con dimensiones aproximadas de 15 x 12 x 11 km. Su superficie está salpicada de pequeños cráteres. Está en órbita alrededor de Marte a una distancia de 23.500 km, con un periodo de 30 h y 18 min. Tiene una masa de $2 \cdot 10^{15}$ kg y una densidad media dos veces la del agua.

Delta. Es un misil americano de tres secciones, utilizado para colocar en órbita terrestre satélites de pequeñas y medianas dimensiones. Con una altura aproximada de 27 m, y un diámetro de 2,5 m, el Delta está compuesto por una primera sección consistente en un cohete Thor con un empuje de 77.000 kg; una segunda sección con combustible líquido y un empuje de 3.400 kg; una tercera sección con combustible sólido de 2.000 kg. En esta configuración, el misil Delta puede colocar alrededor de 350 kg en una órbita terrestre baja y ha tenido un amplio uso en el lanzamiento de los satélites de las series Explorer, Echo, Tiros, etc., a partir de 1960. Desde 1965 sus prestaciones han sido mejoradas con el agregado de tres pequeños "strapon-boosters" con combustible sólido en la primera Delta (literalmente, "Delta con empuje aumentado"), y otras sucesivas versiones mejoradas. Una de éstas, llamada "Straight-Eight Delta", operativa desde 1974, tiene las siguientes prestaciones: primera sec-

ción: 93.000 kg; segunda 4.450 kg; tercera 6.800 kg; tiene una altura de 35 m y puede colocar una carga de 680 kg en una órbita geoestacionaria, o bien 1.800 en una órbita baja. Con los «Delta» potenciados se ha lanzado la numerosa serie de satélites para telecomunicaciones Intel

Densidad. Es la cantidad de materia contenida en la unidad devolumen de una determinada sustancia. Su valor absoluto se mide en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3). Sin embargo, es mucho más usual indicar la densidad relativa de un cuerpo tomando como elemento de referencia el agua, cuya densidad, por convención, se establece igual a 1. Así, por ejemplo, se suele decir que el plomo tiene una densidad de 11,3, entendiéndose con ello que es 11,3 veces más pesado que un volumen equivalente de agua; el cobre tiene una densidad de 8,95 (es decir 8,95 veces más pesado que un volumen de agua igual), y así sucesivamente. Para los cuerpos celestes la medida de la densidad es importante con el fin de establecer su constitución. En el ámbito del sistema solar, por ejemplo, Saturno tiene una densidad media de 0,69 (podría flotar en el agua), siendo el planeta menos denso. La Tierra tiene una densidad media de 5,52 y es el planeta más denso. Los cuerpos más densos del Universo hasta ahora observados son los denominados objetos colapsados: enanas blancas, estrellas de neutrones, pulsar, cuyas densidades alcanzan centenares de miles de veces la del agua.

Diámetro angular. Es el diámetro aparente de un objeto celeste, medido en grados y fracciones de grado. Subrayemos la palabra aparente, ya que el Sol y la Luna, por ejemplo, vistos desde la Tierra tienen un diámetro angular igual, de aproximadamente medio grado, mientras su diámetro efectivo es, respectivamente, de 1.392.000 km y de 3.476 km. El Sol, por lo tanto, es en realidad aproximadamente 400 veces más grande que la Luna; sin embargo, también está 400 veces más alejado de la Luna con respecto a la Tierra y ello hace aparecer su disco idéntico al lunar. Para los objetos celestes muy alejados (galaxias, cúmulos estelares, etc.) el diámetro angular permanece constante y es prácticamente nulo para las estrellas.

Dicotomía. Es el aspecto de un planeta cuando está iluminado exactamente por la mitad de la luz del Sol. Se dice, por ejemplo, que la Luna está en dicotomía cuando se encuentra en el primer o último cuarto.

Difracción (retículo de). Es un instrumento formado por una lámina transparente de vidrio o de otro material, que lleva trazadas un serie de finas líneas paralelas. Cuando es atravesado por la luz, cada línea provoca un fenómeno de difracción de la luz y la dispersa en un Espectro (si se trata por ejemplo, de luz blanca, el espectro resultará formado por los siete colores del arco iris: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violeta). El retículo de difracción puede convertirse así en un perfecto y más económico sustituto del prisma de un Espectroscopio, clásico. Cuanto mayor sea el número de líneas por milímetro en un retículo (con las técnicas modernas pueden trazarse millares), más definido resultará espectro.

Difusión. Es un fenómeno que consiste en la desviación de la luz o de otra forma de radiación. Cuando, por ejemplo, un rayo de sol penetra en una habitación en la que hay partículas de polvo en suspensión, la luz es desviada en todas direcciones o se hace difusa. Lo mismo sucede si se ilumina

un folio de papel blanco. No obstante, existe difusión de la luz en elementos transparentes sin ninguna impureza. Por ejemplo, si consideramos una porción de atmósfera terrestre carente de partículas medianamente grandes, la difusión de la luz se produce por las propias moléculas del aire. En este caso, por la ley de absorción de Raleigh, se constata que la luz más difundida es la azul, mientras que la roja es la menos (absorción selectiva). También las moléculas de un gas pueden convertirse en centros de difusión y es esta la razón por la cual el cielo, en un día sereno, aparece azul.

Dione. Satélite de Saturno, el sexto en orden de distancia desde el planeta, descubierto por el astrónomo Gian Domenico CASSINI en el año 1684. Sus características físicas se conocen mejor desde que la sonda Voyager 2 realizó una observación de cerca. Tiene una superficie caracterizada por su aspecto lunar, pero con un Albedo mucho más elevado (30 %-50 %). Su diámetro es de 1.120 km (aproximadamente un tercio del de la Luna). Se encuentra en órbita a una distancia aproximadamente de 377.000 km del planeta, realizando una vuelta cada 2,7 días.

Dioptría. Es la medida de potencia de una lente. Se mide con un número que equivale a 1 dividido por la distancia focal, expresada en metros. De este modo, a manera de ejemplo, una lente biconvexa de un ocular con una distancia focal de 20 cm, tiene una potencia de 5 dioptrías ($1:0,20 = 5$).

Directo (movimiento). Se dice que un cuerpo celeste se desplaza con movimiento directo o antihorario, cuando recorre su órbita de Oeste a Este. Todos los planetas y los asteroides que giran alrededor del Sol, comprendida a Tierra, realizan un movimiento directo. Son excepción algunos satélites y parte de los cometas que se desplazan de Este a Oeste, o bien, como se dice en el lenguaje astronómico, en sentido retrógrado (o más raramente, horario). En algunos textos astronómicos, el movimiento directo también se llama progrado. Los términos directo y retrógrado también se aplican a los movimientos aparentes de los planetas que, en el curso del año, pueden ser directos (es decir, antihorarios), estacionarios o retrógrados.

Discoverer (satélites). Extensa serie de satélites americanos equipados y lanzados por la U.S. Air Force con fines de reconocimiento militar y de investigación científica. Los Discoverer eran lanzados del polígono de Western Test Range, en California, por medio de los transportadores Thor-Agena y puestos en órbitas polares de manera que, girando alrededor de la Tierra, pudieran efectuar una cobertura completa del globo. A bordo tenían un sofisticado equipo fotográfico, que proporcionaba imágenes de una gran resolución de la superficie terrestre. El primer Discoverer fue lanzado el 28 de febrero de 1959. A partir del número 13, lanzado el 10 de agosto de 1960, comenzaron los experimentos de recuperación de un paquete con materiales que, después de un cierto número de órbitas, era soltado desde el satélite, entraba en la atmósfera y descendía con paracaídas. Estos experimentos constituyeron una importante serie de pruebas para la recuperación de las primeras cápsulas americanas tripuladas. Además, la experiencia de los Discoverer llevó a la realización del satélite de foto-reconocimiento "Samos" y del satélite de alarma rápida (early warning,) "Midas". En los Discoverer se llevaron a cabo también experimentos de tipo biológico con pequeños cobayas. Después del número 38, lanzado el 27 de febrero de 1962,

la serie fue íntegramente puesta bajo secreto militar y las funciones de los satélites no se divulgaron públicamente.

Distancia angular. Es una distancia aparente de dos objetos celestes en el cielo. Es medida en grados y en fracciones de grado. También se suele hacer referencia a ella con el término separación, como en el caso de dos estrellas dobles, cuando se dice que su separación aparente es de un cierto valor angular.

Distancia cenital. Es la distancia angular de un astro con respecto al punto más alto del cielo: el cenit. Se mide de 0° a 90° desde el cenit al horizonte.

Docking. Operación de unión entre dos vehículos espaciales.

DOLLOND, John. 1706-1761 Óptico inglés a quien se debe la lente Acromática. Su hijo Peter (1730-1820) y su biznieto se dedicaron al perfeccionamiento de las lentes acromáticas, por lo cual obtuvieron las patentes de fabricación.

DONATI, Giovanni Battista. 1826-1873 Astrónomo de Pisa famoso por sus estudios sobre la espectroscopia, la clasificación espectral y los cometas. Entre 1854 y 1864 descubrió seis, uno de ellos el famoso y espectacular cometa del año 1858 que adquirió su nombre. Nombrado en 1864 director del Observatorio astronómico de Florencia, DONATI ordenó el inicio de la construcción de otro observatorio en la colina de Arcetri, donde hoy todavía se encuentra desde que fue inaugurado en 1872. DONATI murió de cólera el 19 de septiembre de 1873, al regresar de Viena, donde había participado en un congreso meteorológico internacional.

Doppler (efecto). Se define con este término la variación aparente de la longitud de onda de la luz o del sonido causada por el movimiento. Típico es el ejemplo de la sirena de una ambulancia, cuyo sonido se hace más agudo (y por lo tanto aumenta de frecuencia) cuando el coche se acerca a nosotros, y más grave (y por lo tanto disminuye de frecuencia) cuando se aleja. En el caso de los objetos celestes, el efecto Doppler determina el desplazamiento de las bandas espectrales hacia el azul (o hacia el rojo) según el propio objeto esté en fase de acercamiento o de alejamiento con respecto a nosotros. Por la medida del efecto Doppler es posible determinar la velocidad de aproximación o alejamiento de un objeto celeste con respecto a la Tierra. Desde el momento en que todas las galaxias muestran un desplazamiento hacia el rojo de las bandas espectrales ("redshift"), es decir un alejamiento, este hecho es interpretado por la mayoría de los astrónomos como una prueba de la teoría del Big Bang. La definición del efecto deriva del nombre del físico austríaco Christian J. DOPPLER (1803-1853), que fue el primero en descubrir y describir el fenómeno en el año 1843.

DRAPER, Henry. 1837-1882 Químico americano y astrónomo aficionado pionero en los estudios de la astrofotografía. Ya su padre John William DRAPER (1811 -1882) había tomado en 1842 las primeras fotografías de la Luna y, al año siguiente, del espectro solar. A Henry le correspondió el haber captado el primer espectro estelar, el de la estrella Vega de Lira, en el año 1872. A partir de ese momento, hasta el día de su muerte, continuó asiduamente y con pasión su obra de recopilación de los espectros estelares. Después de su muerte, la viuda de Henry DRAPER donó al observatorio de Harvard, Massachusetts, todas las placas

realizadas por su marido e hizo publicar, entre 1918 y 1924, el *Henry Draper Catalogue*, un monumental catálogo que contiene más de 225.000 estrellas hasta la octava magnitud, y las sucesivas ediciones con otros apéndices.

DREYER, Johann L. E. 1852-1926 Astrónomo danés famoso por haber recopilado el *New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars*, que contiene 7.840 nebulosas y cúmulos estelares y fue publicado en 1888. La clasificación establecida en este catálogo y en los sucesivos apéndices, todavía es utilizada hoy y resulta fácil encontrar en los textos astronómicos una referencia a una determinada nebulosa constituida por la sigla NGC (iniciales de *New General Catalogue*), seguida de un número de orden. Johan DREYER fue director del Armagh Observatorio desde 1882 a 1916. También se ocupó de la historia de la astronomía, publicando biografías de Tycho BRAHE y William HERSCHEL, así como también de un clásico de la historia de la astronomía antigua y del Renacimiento, aparecida en numerosas ediciones hasta nuestros días: su título es *Historia de la Astronomía de Thales a Kepler*.

E

Early Bird. Se trata del primer satélite de telecomunicaciones puesto en órbita por una organización internacional denominada Intelsat (International Telecommunications Satellite Corporation). "Early Bird" (literalmente pájaro temprano) fue colocado en órbita geoestacionaria, a 36.000 km de altura, el 6 de abril de 1965. Siendo su periodo orbital idéntico al periodo de rotación de la Tierra (24 horas), el satélite estaba como inmovilizado en una zona del Atlántico, a una longitud de 35° Oeste. De este modo pudo actuar como puente de radio entre América y Europa, teniendo una capacidad de 240 canales telefónicos y de un canal de televisión. Permaneció en fase operativa durante tres años y medio, debiéndose a él las primeras transmisiones televisivas en directo por mundovisión de grandes acontecimientos políticos y sociales.

Eclipses. Del griego antiguo *ekleipo*, disminuir. Es un fenómeno que se produce cuando el disco del Sol desaparece en parte o completamente, debido a que el de la Luna pasa delante suyo (eclipses de Sol); o bien cuando la Luna se oscurece en parte o completamente, porque la Tierra se interpone entre ella y el Sol cubriéndola con su sombra (eclipses de Luna). Si las órbitas recorridas por la Tierra y la Luna fueran exactamente coplanarias, se tendrían dos eclipses cada mes: en cada Luna nueva (o Conjunción lunar) tendríamos un eclipse de Sol, y en cada Luna llena (Oposición lunar) tendríamos un eclipse de Luna. Sin embargo, como los planos de las órbitas de la Tierra y de la Luna están inclinados alrededor de 5°, en realidad los eclipses se producen cuando la Luna, en el novilunio o en el plenilunio se encuentra en uno de los dos puntos en los cuales su órbita intercepta la de la Tierra. A causa de estas limitaciones, el número de los eclipses que se puede producir en el curso de un año varía de un mínimo de dos solares y ninguno lunar, a un máximo de cinco solares y dos lunares, o bien de cuatro solares y tres lunares. Los eclipses se observan sistemáticamente desde la antigüedad. Algunas antiguas observaciones grabadas en tablillas demuestran que los pueblos mesopotámicos, entre el tercer y segundo milenio antes de Cristo ya habían descubierto el denominado ciclo de Saros. Este es un periodo de aproximadamente 18 años, transcurrido el cual la Luna vuelve a ocupar la misma posición en su órbita con respecto al Sol, por lo cual los eclipses se repiten aproximadamente con las mismas modalidades. Cada "ciclo de Saros" comprende un promedio de 71 eclipses, de los cuales 43 son solares y 28 lunares. Eclipses de Sol. Un eclipse de Sol sólo es visible en una estrecha franja de la superficie de la Tierra. En efecto, cuando el disco negro de la Luna se interpone entre el Sol y la Tierra, nuestro globo es interceptado, en una determinada parte de su superficie, desde el cono de sombra y desde el de penumbra. Aquellos que se encuentran en la zona en la cual se proyecta el cono de sombra, verán el disco de la Luna superponerse íntegramente al del Sol: en este caso se tendrá un "eclipse total de Sol". Aquellos que se encuentran en una zona interceptada por el cono de penumbra, verán el disco de la Luna superponerse sólo en parte al del Sol: es el caso del "eclipse parcial de Sol". Se da también un tercer caso.

Cuando la Luna nueva se encuentra en el nodo a una distancia mayor con respecto a la media, entonces su diámetro aparente es más pequeño con respecto al habitual y su disco no alcanza a cubrir exactamente el del Sol. En estas circunstancias, sobre una cierta franja de la Tierra incide no el cono de sombra, sino la prolongación del cono de sombra y se tiene un "eclipse anular de Sol": alrededor del disco negro de la Luna queda visible un anillo luminoso. Según se produzca una de las situaciones arriba expuestas, se habla de "zona de totalidad", de "zona de parcialidad" o de "zona de anularidad", haciendo referencia con ello a la franja de la superficie terrestre desde la cual es posible observar el fenómeno. A causa del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra y del movimiento de la Tierra alrededor de sí misma, la sombra de la Luna sobre la superficie terrestre se mueve a unos 15 km/s. La fase de totalidad por lo tanto, para un determinado punto geográfico, no supera los 8 minutos. La zona de totalidad puede tener una anchura máxima de 200 km y una longitud máxima de 15.000 km. Los eclipses de Sol no constituyen sólo un fenómeno espectacular, sino una ocasión de investigación científica para los estudiosos de nuestra estrella. Habitualmente, desde la Tierra es posible observar en el Sol un disco de color amarillo correspondiente a la fotosfera: un desarrollo de gas a unos 6.000 grados de temperatura. Sobre la fotosfera hay una fina capa de gas a altísimas temperaturas, de hasta un millón de grados, llamada cromosfera. Más arriba aún hay una amplia región de gases ionizados, llamada corona, cuyas temperaturas alcanzan un máximo de 4 millones de grados. Cromosfera y corona, aunque más calientes que la fotosfera, están mucho más rarificadas y por lo tanto no son visibles desde la Tierra en luz blanca, porque su luminosidad es inferior no sólo a la de la fotosfera, sino también a la de la luz difusa del cielo. Durante los eclipses totales de Sol se hace casi noche en pleno día, hasta el punto que es posible ver las estrellas más luminosas; la luz difusa del cielo desaparece casi completamente y se ponen en evidencia cromosfera y corona. Los astrónomos pueden, por lo tanto, analizar durante algunos minutos estas dos capas superiores de la atmósfera solar, que tienen una enorme importancia para los estudios sobre los mecanismos energéticos de nuestra estrella. La cromosfera aparece, incluso si se observa con un modesto instrumento como puede ser un telescopio de aficionado, como un arco de color rosado, mientras la corona se presenta como un espectacular halo de tonalidad madreperla, visible a simple vista, que se extiende a lo largo de algunos grados alrededor del Sol. Con la ayuda de un telescopio es posible, durante la fase de totalidad, observar las protuberancias, enormes chorros de gas que se proyectan desde la cromosfera hacia la corona. Desde los años 30, gracias a la invención del Coronógrafo, los astrónomos crean eclipses artificiales, aunque persiste el problema de la luz atmosférica difusa y por lo tanto los eclipses naturales constituyen un fenómeno incomparable para el estudio de las capas más exteriores del Sol. Los eclipses parciales de Sol, aunque menos interesantes para la investigación astronómica, ofrecen ocasiones de análisis y comprobación para aquellos que se ocupan de la →*astrometría*. En este caso

son registrados los momentos de los contactos entre el disco de la Luna y el del Sol y verificadas con exactitud las previsiones sobre el movimiento lunar: un movimiento complejo y de difícil descripción analítica y sin embargo importante porque en él se basan las medidas de tiempo de las Efemérides astronómicas. Otro modo de utilizar los eclipses de Sol, tanto totales como parciales, consiste en aprovechar el avance del disco de la Luna sobre el del Sol para determinar exactamente las dimensiones de estructuras como las manchas, los gránulos, los flóculos, etc., que son ocultados paso a paso. Por todos estos motivos los eclipses de Sol, sobre todo los totales, son observados asiduamente y se organizan expediciones de astrónomos a los lugares afectados por la zona de totalidad. Desde hace algunos años, sin embargo, una buena parte de los estudios satélites astronómicos. En efecto, desde aquí, gracias a los coronógrafos, es posible crear eclipses artificiales sin el problema de la luz atmosférica difusa. Experimentos de este tipo han sido realizados desde el laboratorio del Skylab y desde el satélite Solar Maximum Mission, aún en órbita pero ya fuera de uso. Por lo tanto es posible prever que la próxima generación de satélites sustituirá, tal vez casi completamente, la observación científica de los eclipses desde la Tierra. No obstante, siempre permanecerá la belleza de un espectáculo que no termina de maravillar y fascinar al hombre. Eclipses de Luna. Al contrario de los de Sol, los eclipses de Luna pueden ser observados desde amplias zonas de la superficie terrestre, particularmente de todo el hemisferio que no es iluminado por el Sol, siempre que la Luna esté por encima del horizonte. También los eclipses de Luna pueden ser de tres tipos. 1) Eclipses totales de Luna, cuando nuestro satélite natural se sumerge completamente en el cono de sombra proyectado por la Tierra en el espacio. La duración de un fenómeno de este tipo varía según la trayectoria de la Luna a través del cono de sombra. Al máximo se pueden producir eclipses totales de Luna de 3,5 horas. El oscurecimiento de la Luna por efecto de su entrada en el cono de sombra casi nunca es completo, porque el cono de sombra no está totalmente oscuro, sino que conserva una tenue luz rojiza que le confiere a nuestro satélite natural un color cobrizo. 2) Eclipses parciales de Luna, cuando nuestro satélite natural penetra en el cono de sombra sólo en parte. En este caso, mientras una parte de la superficie lunar es visiblemente oscurecida, la otra conserva su luminosidad. 3) Eclipses de penumbra, cuando nuestro satélite natural, en lugar de penetrar en el cono de sombra, pasa sólo a través del de penumbra. En este caso la pérdida de luminosidad sobre el disco de la Luna es imperceptible o apenas visible a simple vista y es más evidente a través de adecuadas técnicas fotográficas. El estudio de los eclipses de Luna, además de para realizar medidas astronómicas, como la verificación de los momentos de contacto entre el disco de nuestro satélite natural y el cono de sombra, sirve también para un análisis indirecto de las condiciones de la atmósfera terrestre. La densidad y la coloración de los conos de sombra y de penumbra están muy influidos por la presencia de ozono y polvillo en suspensión en los diversos estratos de nuestra atmósfera. Previsiones. Desde el momento en que los movimientos de la Tierra, de la Luna y del Sol pueden calcularse con buena precisión, también los eclipses futuros pueden ser previstos por los astrónomos. El mayor trabajo en la previsión de los eclipses fue desarrollado en el siglo XIX por el astrónomo austriaco Theodor VON OPPOLZER (1841-1886), que en su importantísima obra *Canon der Finsternisse* (Canon de los eclipses) publicada en 1887, calculó las circunstancias de todos los eclipses solares y lunares producidos desde 1207 a. JC. al 2163 d. JC. Desde

un punto de vista estadístico, en un siglo se producen alrededor de 360 eclipses de distinto tipo, de los cuales 220 son solares y 140 lunares. A pesar del número de los solares, algo así como una vez y media el número de los lunares, para un observador fijo en un determinado lugar es mucho más raro asistir a un eclipse de Sol; y esto es debido al hecho, ya anotado, que este último fenómeno es sólo visible desde una zona restringida de la Tierra, mientras un eclipse de Luna puede observarse desde una amplia zona terrestre. Se calcula que un habitante de un lugar puede ver en el curso de su vida, siempre que las condiciones meteorológicas lo permitan, alrededor de 50 eclipses de Luna, 25 de los cuales son totales, y 30 eclipses de Sol, todos parciales. Resulta rara la circunstancia de asistir a un eclipse total de Sol. Por ejemplo, el último eclipse total de Sol visible desde una restringida zona de Italia, se produjo el 15 de febrero de 1961. Los habitantes de la misma zona deberán esperar hasta el 6 de julio de 2187 para ver el próximo eclipse total de Sol. Para aquellos que quieran observar estos magníficos fenómenos astronómicos, he aquí dos tablas en las cuales se establecen las características esenciales de los eclipses de Sol y de Luna más importantes que se producirán en los últimos años del siglo XX. La única advertencia que damos para la observación se refiere a los eclipses de Sol: nuestro luminoso astro nunca debe observarse a simple vista, sino protegiéndose los ojos con una lámina ennegrecida, como por ejemplo un trozo de vidrio ahumado en una vela, o bien observándolo a través de un instrumento óptico con el adecuado filtro solar, o de una película fotográfica blanco y negro, velada y revelada.

Eclíptica. Es la proyección del plano orbital de la Tierra sobre la Esfera celeste. A veces se indica también con el nombre de eclíptica el recorrido aparente que el Sol realiza en un año a través de las estrellas: más precisamente, a través de las doce bien conocidas constelaciones del Zodíaco. Desde el momento que el plano de la órbita terrestre está inclinado aproximadamente $23^{\circ}50'$ con respecto al Ecuador, la eclíptica está inclinada en el mismo valor con respecto al ecuador celeste. La eclíptica debe su nombre al hecho de que todos los eclipses, de Sol y de Luna, se producen cuando la Luna, recorriendo su órbita, atraviesa el plano de la órbita terrestre.

Ecosfera. Esta es una palabra científica de reciente utilización. Se define como ecosfera, o incluso biosfera, una imaginaria cáscara esférica alrededor de una estrella, en el interior de la cual existen temperaturas tales como para permitir el nacimiento y la evolución de la vida. Obviamente cada estrella, según su Clase espectral y por lo tanto de su temperatura superficial, tendrá su ecosfera. Un planeta que se encontrara muy hacia dentro de la ecosfera, tendría temperaturas demasiado altas y por lo tanto incompatibles con el fenómeno de la vida. Del mismo modo un planeta que se encontrara muy hacia fuera de la ecosfera, estaría inmerso nuestro sistema solar, estos dos casos límites están representados por Mercurio, cuyas temperaturas superficiales llegan a la fusión del plomo, y Plutón, en el cual se supone reine una temperatura de -200°C . La Tierra, en cambio, se encuentra exactamente en el medio de la envoltura ecosférica. Según el ingeniero americano Stephen Dole, la extensión de la ecosfera en nuestro sistema solar va de 0,72 UA (aproximadamente desde el nivel de la órbita de Venus), a 1,2 UA (a una distancia del Sol que está a medio camino entre las órbitas de la Tierra y de Marte). Esto quiere decir que, a excepción de la Tierra y Venus, ningún otro planeta de nuestro sistema recibe la exacta dosis de calor solar

compatible con la vida. Sin embargo, como bien sabemos, la justa dosis de calor solar representa una condición necesaria pero no suficiente, para la presencia de la vida en un planeta. En el caso de Venus, por ejemplo, la atmósfera a base de dióxido de carbono estropea cualquier cosa, haciendo a aquel planeta tórrido, sofocante e inhóspito. Admitiendo, como ahora ya parece probable, que la mayor parte de las estrellas que vemos brillar en el cielo estén acompañadas de un cortejo de planeta similares al nuestro, las dimensiones de la ecosfera de cada estrella varían en función de la clase espectral. Si un sol pertenece a una de las primeras clase espectrales y es muy luminoso, la ecosfera será mu grande; si pertenece a una clase espectral intermedi (como nuestro Sol), tendrá una ecosfera de dimensiones medias; si pertenece a una de las últimas clase espectrales, y tiene por lo tanto una baja luminosidad, la ecosfera será pequeña. Este hecho implica que sólo las estrellas con elevada luminosidad o media pueden tener planetas en zona de habitabilidad, cuando la luminosidad es pequeña el planeta para encontrarse dentro de la ecosfera, debe estar en órbita muy cerca del propio sol. Sin embargo, en este caso tiende a instaurarse una rotación sincrónica, por la cual el planeta muestra a su propio sol siempre la misma cara, con el resultado de tener un hemisferio demasiado caliente (el preferentemente iluminado) y el otro demasiado frío. Según una reciente estadística realizada por el astrónomo Carl SAGAN, en nuestra Galaxia podrían existir cien mil millones de soles poseyendo por lo menos un planeta en ecosfera, y por lo tanto habitado por alguna forma de Vida.

Ecuación del tiempo. El Sol, a causa del hecho que la órbita de la Tierra es elíptica, tiene un movimiento aparente sobre el fondo de estrellas con velocidad variable según los períodos del año. Los astrónomos, para simplificar sus cálculos, recurren a un artificio llamado Sol medio, que es un Sol ficticio dotado de velocidad constante correspondiente a la velocidad media que se mide en el movimiento aparente del Sol. La diferencia de tiempo entre la Culminación del Sol verdadero y la del Sol medio se llama ecuación del tiempo. Esta puede ser positiva, negativa o nula, según si el Sol medio está adelantado, con retraso o en sincronía con el Sol verdadero. La ecuación del tiempo es nula los días 16 de abril, 14 de junio, 2 de septiembre y 26 de diciembre; alcanza los máximos positivos el 12 de febrero (+ 14' 23") y el 27 de julio (+ 6' 22"); y los máximos negativos el 4 de noviembre (-16' 22") y el 15 de mayo (-3' 47"). En el curso de los años estas fechas pueden también caer en diferentes días de los indicados, ya que al comienzo del año civil no coincide con el del astronómico.

Ecuador. Es la máxima circunferencia de un cuerpo celeste equidistante de los dos polos y conteniendo por definición todos los puntos de latitud cero. La proyección del Ecuador terrestre sobre la esfera celeste se define ecuador celeste y representa la máxima circunferencia de referencia para la determinación de la declinación.

Ecuatorial (montura). Es una montura especial para telescopios astronómicos, que tiene un eje paralelo al eje de rotación de la Tierra y un segundo eje normal al primero. El eje paralelo al terrestre, también llamado eje polar, o eje horario, puede acoplarse a un motorcito que, haciéndole dar una vuelta completa en 24 horas, compensa exactamente el movimiento de nuestro planeta, de manera que el telescopio siga el desplazamiento aparente de las estrellas. El segundo eje es denominado a su vez eje de declinación. La montura ecuatorial es preferida por los astrónomos con respecto a la

altacimutal porque, gracias a ella, es posible efectuar fotografías astronómicas de larga exposición. Para una detallada descripción de los diversos tipos de soporte de un telescopio astronómico.

Ecuatoriales (coordenadas). Es el sistema de coordenadas más utilizado entre los astrónomos; está definido por la ascensión recta, correspondiente a la longitud terrestre, y por la declinación, correspondiente a la latitud terrestre.

Echo. Nombre dado a dos famosos satélites americanos, consistentes en una enorme envoltura de plástico inflada como un globo en órbita terrestre. Lanzados a comienzos de los años 60, fueron empleados para el estudio de la resistencia producida por las partículas rarificadas de la alta atmósfera sobre el movimiento de los cuerpos artificiales; para el estudio de la presión ejercida por la radiación solar sobre grandes superficies; y también como repetidores pasivos de señales de radio. "Echo 1" fue lanzado el 12 de agosto de 1960 a una órbita circular, a unos 1.500 km de altura. Estaba hecho de fibra de poliéster con un grosor de apenas 1/10 de mm y estaba recubierto exteriormente por una superficie reflectora de aluminio. Inflado en órbita gracias a la liberación de pequeñas cantidades de gas, que en el vacío del espacio se expandían con mucha eficacia, adquirió la forma de una esfera de 30 m de diámetro. Durante casi 8 años, hasta mayo de 1968, permaneció en órbita, proporcionando informaciones muy útiles. "Echo II", lanzado el 25 de enero de 1964, estaba hecho con una película plástica aún más delgada, 1/20 de mm. Más grande que el anterior, 41 m, fue el primer satélite que se empleó, en colaboración con la Unión Soviética, para experimentos de reflexión de las ondas de radio. Permaneció en órbita hasta junio de 1969. Los dos "Echo" se hicieron famosos no sólo por sus investigaciones científicas, sino porque fueron los primeros satélites perfectamente visibles a simple vista incluso para los profanos. Tenían la apariencia de una estrella de primera magnitud que se desplazaba velozmente entre las constelaciones. A veces era posible observarlos en dos pasos consecutivos desde el mismo lugar. Uno de los fenómenos más singulares que ofrecían era, en algunas circunstancias, la desaparición repentina en el centro de la bóveda celeste por efecto de su ingreso en el cono de sombra de la Tierra.

EDDINGTON, Sir Arthur S. 1882-1944 Astrofísico inglés conocido por sus estudios sobre la estructura interna de las estrellas y por sus contribuciones a la comprensión de la relatividad y la moderna cosmología. EDDINGTON se ocupó de las Cefeidas y atribuyó su variabilidad a pulsaciones de estas estrellas, es decir, a una alternancia de fases de contracción y fases de dilatación. Demostró que en el interior de las estrellas la temperatura es de algunos millones de grados y la materia se encuentra en estado de gases ionizados. En el modelo que él elaboró del interior de una estrella, gravedad, presión gaseosa y presión de radiación están interrelacionadas y sus estudios teóricos le permitieron calcular algunos diámetros de gigantes rojas, obteniendo valores confirmados por MICHELSON. Estableció la relación también entre masa estelar y luminosidad, prediciendo para la enana blanca compañera de Sirio una densidad elevadísima, verificada después por W. S. ADAMS. EDDINGTON fue de los primeros en comprender el alcance de la relatividad y en difundirla entre la gente de habla inglesa. En 1919 organizó una expedición a la isla Príncipe, en el Golfo de Guinea, para medir, aprovechando el eclipse total de Sol del 29 de mayo, la desviación que experimentan los rayos lumino-

sos de una estrella cuando atraviesan el campo gravitacional del Sol, y así verificar si el valor de la propia desviación era el previsto por la mecánica relativista. Ya en 1914 había propuesto que nuestra Galaxia no era más que una pequeña parte de todo el Universo y, en 1927, identificó, en el desplazamiento de las bandas espectrales hacia el rojo y en el espectro de nebulosas estragalácticas, un efecto Doppler debido a la expansión del Universo.

Efemérides. Tablas numéricas que contienen las coordenadas de los astros (planetas, satélites, pequeños planetas, cometas, etc.) y otros elementos referentes a los periodos de tiempo regulares y sucesivos, gracias a los cuales es posible calcular las posiciones de los propios astros en el cielo. El nombre de efemérides deriva del griego antiguo *efemeris* (cotidiano).

Effelsberg (radiotelescopio de). Localidad en la que se encuentra el radiotelescopio más grande del mundo íntegramente móvil (al contrario de otros, como el de Arecibo en Puerto Rico, que son fijos). Tiene una antena en forma de disco de un diámetro de 100 metros y se encuentra en una zona montañosa de Alemania Occidental, a unos 40 km al Oeste de Bonn. El radiotelescopio está a cargo del Max Planck Institute de radioastronomía y se halla en funcionamiento desde 1971.

EINSTEIN, Albert. 1879-1955 Científico de origen alemán, considerado como el máximo físico teórico de nuestro siglo. EINSTEIN es conocido, sobre todo, por su teoría de la relatividad, que consta de dos enunciados diferentes: el primero publicado en 1905 y llamado de la relatividad especial y se ocupa de sistemas que se mueven el uno con respecto al otro con velocidad constante (que incluso puede ser igual a cero); el segundo de 1916, se ocupa de sistemas que se mueven a velocidad variable. Los postulados de la relatividad especial son dos: el primero afirma que todo movimiento es relativo y revelable precisamente como relativo a cualquier otra cosa, y por lo tanto el éter, el famoso medio de propagación de la luz en cuya existencia se había firmemente creído durante todo el siglo XIX no puede determinarse por ningún experimento. En efecto, esta sería la única cosa del Universo absolutamente firme, según la descripción que se venía dando, por lo que su movimiento sería absoluto y como tal no determinable. De este modo, EINSTEIN liberó a la física del misterioso éter, mostrando ante todo que no se tenía necesidad de un concepto semejante. El segundo postulado afirma que la velocidad de la luz es siempre constante con respecto a cualquier observador. De la serie de ecuaciones obtenidas de tales premisas teóricas, surgen consecuencias muy importantes e incluso desconcertantes: el aumento de la masa con la velocidad; la equivalencia entre masa y energía según la conocida fórmula $E = mc^2$, en la que c es la velocidad de la luz y E representa la energía obtenible por un cuerpo de masa m cuando toda su masa sea convertida en energía; el efecto de contracción, por el cual a dos observadores en movimiento el uno con respecto al otro toda cosa inherente al otro parece contraerse en el sentido del movimiento; la dilatación del tiempo que se verifica en un sistema en movimiento con respecto a un observador (la famosa paradoja de los gemelos ilustra precisamente este efecto: imaginemos que de dos gemelos de veinte años, uno permanezca en la Tierra y el otro parta en una astronave tan veloz como la luz hacia una meta distante 30 AL de la Tierra; al volver la astronave, para el gemelo que se quedó en la Tierra, habrían pasado sesenta años, en cambio para el otro sólo unos pocos días).

Ahora ya se han acumulado las comprobaciones experimentales de la relatividad especial: tenemos ejemplos clarísimos de incrementos de masa obtenidos en los aceleradores de partículas; la equivalencia entre masa y energía, después de haber sido probada en laboratorio en 1932, ha dado lugar a impresionantes aplicaciones concretas (tanto la fisión como la fusión nucleares son procesos en los que una parte de la masa de los átomos se transforma en energía); por último, incluso el hecho de que el tiempo hace más lento su propio curso a altas velocidades ha sido comprobado muchas veces. La teoría de la relatividad general se refiere al caso de movimientos que se producen con velocidad variable y tiene como postulado fundamental el principio de equivalencia, según el cual los efectos producidos por un campo gravitacional equivalen a los producidos por el movimiento acelerado. La primera conclusión importante a que llegó EINSTEIN al desarrollar esta premisa fue que las órbitas de los planetas no son fijas, como había creído NEWTON, sino que rotan lentamente (en la mayor parte de los planetas casi imperceptiblemente) en el espacio. Así fue explicada la rotación de la órbita de Mercurio, equivalente a 43° de arco por siglo, que hasta ese momento era un enigma. La segunda conclusión es que los rayos luminosos deben ser desviados por un campo gravitacional, lo que fue comprobado midiendo el desplazamiento aparente de una estrella, con respecto a un grupo de estrellas tomadas como referencia, cuando los rayos luminosos provenientes de ella rozan el Sol. Sin embargo, como el hecho de que la luz de la estrella roce la superficie solar impide al observador verla, porque es deslumbrado por la propia luz del Sol, la verificación se efectúa aprovechando un eclipse total de Sol. La estrella es fotografiada dos veces, una vez en ausencia y otra en el curso del eclipse; de la medida del desplazamiento aparente de ella con respecto a las estrellas de referencia se puede llegar al ángulo de desviación, que ha resultado casi siempre, en el transcurso de las diferentes pruebas, muy cercano a las previsiones de EINSTEIN. Según la relatividad general, también las masas gravitacionales tienen efecto sobre el fluir del tiempo: todos los procesos temporales serán más lentos en proximidad de una gran masa que de una pequeña. La cosmología relativista hipotiza un Universo ilimitado, es decir carente de límites o barreras, pero finito, cerrado en sí mismo; siguiendo esta teoría el espacio es curvo, no en el sentido físico del término, sino en el de que contiene masas gravitacionales que determinan en su proximidad la curvatura de los rayos luminosos. Sin embargo en el año 1922 Friedmann demostró que era posible elegir por las ecuaciones relativistas la solución que da un modelo de Universo en expansión, incluso estático como el que establecía EINSTEIN en sus hipótesis. Albert EINSTEIN fue galardonado con el premio Nobel de física en el año 1921.

Eje de rotación. En un cuerpo animado sólo por el movimiento de rotación, es el lugar de los puntos que permanecen inmóviles. En el caso de la Tierra, el eje de rotación está inclinado 66° 33' 8" con respecto al plano de la órbita, o bien 23° 26' 52" con respecto al eje de la órbita. El eje de rotación terrestre, también denominado eje celeste o eje horario, determina la dirección Norte-Sur y en el Norte está dirigido hacia la Estrella polar (α Ursae Minoris). Sin embargo está animado por pequeños movimientos que, con el tiempo, le hacen cambiar de dirección.

Elara. Nombre del séptimo satélite de Júpiter en orden de distancia, fue descubierta en el año 1905 por el astrónomo C. D. PERRINE. Está en órbita a una distancia media del

planeta de 11.737.000 km, con un período de doscientas cincuenta y nueve días. Tiene un radio de apenas 12 km.

Eldo. Siglas de la European Launcher Development Organization (Organización para el desarrollo de un lanzador europeo), fundada en 1964 por un consorcio de naciones europeas que incluía a Bélgica, Francia, Alemania Federal, Inglaterra, Italia y Holanda, con el objetivo primordial de realizar un misil europeo de tres secciones que se basaba en el misil estratégico inglés "Blue Streak", adoptado como primera sección y que serviría para poner en órbita satélites artificiales. Se construyeron dos cohetes, "Europa I" y "Europa II", ambos lanzados desde el polígono de Woomera en Australia, que fracasaron. El programa fue entonces abandonado y las actividades espaciales del consorcio de países europeos se refundió con la ESA (European Space Agency [Agencia Especial Europea]) en el año de 1975.

Elektron (satélites). Serie de satélites científicos soviéticos puestos en órbita para el estudio de los cinturones de radiación, o de Van Allen, que rodean la Tierra. Los "Elektron" fueron cuatro: los dos primeros fueron lanzados en enero de 1964 y se programaron para analizar uno la cara interior y el otro la cara exterior. Los dos siguientes fueron lanzados con el mismo fin en el mes de julio del mismo año.

Electrón. Pequeña partícula atómica portadora de la carga negativa. En un átomo estable los electrones están en órbita alrededor del núcleo y su número es igual al de los protones (partículas positivas) contenidos en el propio núcleo. La masa de un electrón es $1/1.840$ con respecto a la de un protón. Su carga negativa, que es la más pequeña jamás determinada en la naturaleza, es tomada, por convención, igual a la unidad.

Elemento químico. Se define como elemento químico a una sustancia homogénea que no puede dividirse en sustancias más simples. Los elementos químicos existentes en la naturaleza son 92 y pueden presentarse en estado gaseoso, líquido o sólido. De su unión está formada toda la materia que observamos en el Universo. Elementos químicos son por ejemplo: el hidrógeno, el helio, el oxígeno, el hierro, el uranio. Una sustancia formada por la unión de dos o más elementos químicos se llama compuesto. El agua, por ejemplo, es un compuesto formado por hidrógeno y oxígeno. La Astrofísica ha podido determinar que en todo el Universo visible los elementos químicos se presentan con la misma Abundancia relativa.

Elementos (origen de los). Una de las interrogantes más apremiantes de la astronomía es cómo se han originado los elementos químicos que se encuentran en todo el Universo visible. Hasta hace poco tiempo se consideraba que estos más que ser el producto de reacciones nucleares internas de las estrellas que actualmente observamos, ya estaban presentes en los comienzos del Universo. Sin embargo, de acuerdo con los estudios más recientes de cosmología y de astrofísica, la formación de los elementos ha sido lenta y gradual, de tal manera que primeramente sólo se han originado los más livianos y en un segundo momento, a través de procesos nucleares que han involucrado a sucesivas generaciones de estrellas, los más pesados. De acuerdo con la teoría del Big Bang, que hoy representa el punto de vista más acreditado sobre el origen del Universo los procesos de fusión nuclear que se llevaron a cabo después de la gran explosión primordial, sólo produjeron hidrógeno y helio.

Después, a causa de la expansión, las temperaturas descendieron rápidamente y estos procesos se interrumpieron sin dar vida a elementos más pesados. Fue necesario esperar el agregado de hidrógeno y helio primordiales en estrellas (las primeras estrellas del Universo neonato) para ver instaurar, en su interior, nuevos y más duraderos procesos de fusión nuclear y para asistir, por consiguiente, al nacimiento de elementos cada vez más pesados: berilio, carbono, oxígeno, neón, magnesio, silicio, hierro, etc. Se piensa que la producción fue gradual, limitándose cada generación estelar a producir elementos de complejidad creciente y a diseminarlos en el espacio, proporcionando una materia elaborada que, a su vez, constituyó el punto de partida para sucesivos agregados estelares y otras elaboraciones. Estas teorías, más que basarse en los conocimientos de la física nuclear y subnuclear, se fundamentan en observaciones. En efecto, cuanto más lejos se mira el Universo, cuanto más antiguas son las estrellas que se analizan, apareciendo más pobres en elementos pesados, más se confirma la hipótesis de que los elementos se han construido "ladrillo sobre ladrillo", desde los más livianos a los más pesados, gracias al trabajo de sucesivas generaciones estelares. Al final de la diseminación de los elementos más pesados en el espacio, se ha podido observar que el papel fundamental es desempeñado por las estrellas que estallan (las llamadas Supernovas) lanzando a su alrededor materia altamente elaborada. Se considera que el propio nacimiento de sistemas planetarios como el nuestro, ricos en elementos pesados con los que se formaron los planetas, sea la consecuencia de la explosión de una supernova.

Elipse. Es una curva que forma parte de la familia de las Cónicas. La elipse tiene la forma de un óvalo más o menos achatado y es la órbita típica de los objetos que giran alrededor de un centro de gravedad como lo hacen, por ejemplo, los planetas con el Sol. Los planetas del sistema solar tienen órbitas elípticas con una excentricidad muy pequeña.

Elongación. Es la distancia angular de un planeta al Sol, o bien el ángulo entre el Sol y el planeta visto desde la Tierra. Para los planetas internos (Mercurio y Venus) se distingue una elongación oriental, cuando el planeta visto desde la Tierra se encuentra al Este con respecto al Sol, y una occidental cuando se encuentra al Oeste.

Enanas (estrellas). De acuerdo con sus dimensiones, las estrellas son clasificadas en enanas, gigantes y supergigantes. Nuestro Sol, por ejemplo, con sus 697.000 km de radio, es considerado una estrella enana. Antares, una estrella de la constelación de Escorpión, que tiene un diámetro equivalente a 285 veces el del Sol (es tan grande que puesto en su lugar ocuparía el espacio hasta la órbita de Marte), es una supergigante. Las estrellas como el Sol, en las primeras etapas de su evolución, cuando están aún "frías" y no tienen suficiente energía para emitir, son denominadas enanas rojas; mientras las estrellas como nuestro Sol, que al llegar al final de su existencia estallan y después se contraen emitiendo grandes cantidades de energía, son llamadas enanas blancas.

Encélado. Tercer satélite de Saturno en orden de distancia desde el planeta y sexto en orden de tamaño. Está en órbita alrededor de Saturno a una distancia media de 238.000 km. Tiene un período de 32 horas y 53 minutos y un diámetro de 500 km.

ENCKE, Johann Franz. 1791-1865 Uno de los astrónomos alemanes más importantes del siglo XIX, cuyo nombre está unido, sobre todo, al cometa con más corto periodo que se conoce. Fue discípulo del gran matemático y astrónomo alemán Carl Friedrich GAUSS (1777-1865) y se le nombró director del Observatorio de Berlín en 1825. Después de haber calculado, en 1818, los elementos orbitales del cometa que después fue llamado con su nombre, pudo calcular la masa de Mercurio y de Júpiter por los efectos ejercidos por estos dos planetas sobre la órbita del propio cometa. ENCKE se dedicó también a la recopilación de un nuevo atlas estelar, que hizo posible a J. G. GALLE (1812-1910) descubrir Neptuno. En el año 1837 descubrió, además, una nueva división en los anillos de Saturno.

Encke (cometa de). Es el cometa periódico con el periodo más corto conocido hasta ahora. Realiza un giro alrededor del Sol cada 3,3 años (3 años y 106 días), con un perihelio (punto más próximo al Sol) en torno a 51 millones de km y un afelio (punto más distante del Sol) de aproximadamente 611 millones de km. Esto significa que el cometa se acerca al Sol casi tanto como Mercurio y se aleja de él casi como Júpiter, desde el momento que se caracteriza por una órbita relativamente excéntrica ($e = 0,85$). El cometa de Encke pertenece a la llamada "familia de Júpiter": ese numeroso grupo de cometas de corto periodo (alrededor de 1 semana), cuyas órbitas están altamente influidas por el paso cercano a Júpiter. Estos, en épocas pasadas, han experimentado un fenómeno llamado de captura por parte del planeta gigante del sistema solar, que los vincula así arrastrando el afelio a las proximidades de su órbita. El Encke es un elemento astronómico de gran interés por diversos motivos. En él se ha notado, con el pasar de los años, una progresiva reducción de la capacidad de rodearse de cabellera y cola: signo de que los repetidos pasos junto al Sol lo han ido despojando, poco a poco, de los elementos volátiles, reduciéndolo a un núcleo preponderantemente rocoso e inerte. Por este motivo, algunos astrónomos consideran que el Encke representa el estado final de ese proceso que llevaría a los cometas nuevos a transformarse, con el tiempo, en asteroides del tipo Apolo. Según el astrónomo checoslovaco Lubor KRESAK, un fragmento se separó del Encke y penetró en la atmósfera terrestre el 30 de junio de 1908, cayendo en el altiplano siberiano junto al río Tunguska Medio, provocando la destrucción de 2.000 km² de bosque y una explosión comparable a 20.000 toneladas de trilita. Los pequeños fragmentos de polvo que a continuación se separaron del Encke se han considerado como los responsables de la lluvia anual de estrellas fugaces, llamados Táuridas, que alcanza el máximo de intensidad el 13 de noviembre de cada año. Este importante cometa se conoce desde tiempos relativamente recientes. Fue observado por primera vez por los franceses Mechain y Messier en 1786 y sucesivamente perdido de vista. En 1818 fue observado nuevamente por Pons y entonces Johan ENCKE calculó sus elementos orbitales, dándose cuenta que se trataba del mismo cometa aparecido anteriormente. La NASA y la ESA proyectan desde hace tiempo la observación cercana del cometa de Encke mediante sondas espaciales automáticas, pero hasta ahora estos proyectos no se han podido llevar a cabo, sobre todo por la dificultad de presupuestos de las agencias espaciales.

Encke (división de). Con este término se indica un vacío aparente existente en la parte externa del anillo A de Saturno. Como es sabido, este planeta se caracteriza por una serie de anillos -constituidos por partículas de hielo- los más evidentes de los cuales, a partir del exterior, son llama-

dos con las letras A, B, C y D. Mientras A y B están separados con una división bien marcada, llamada de Cassini, por el nombre de su descubridor, el A está surcado por una fina división llamada de Encke, del nombre del astrónomo alemán que la descubrió en el año 1837; la división, debido a su extrema finura, también es denominada trazo de lápiz. Las recientes observaciones cercanas del mundo saturniano, efectuadas por las dos sondas americanas Voyager, han demostrado que esta división, como también la de Cassini, está caracterizada por una relativa ausencia de partículas con respecto a otras regiones de los anillos, y no por un vacío absoluto de materia como parecían indicar las primeras e imprecisas observaciones desde la Tierra.

Epiciclo. Es un elemento, que no tiene ninguna relación con la realidad, al cual recurrían los antiguos astrónomos para explicar los movimientos de los planetas. Hasta los tiempos en que J. KEPLER (1571-1630) descubrió las tres leyes sobre los movimientos planetarios, con el fin de conciliar los datos resultantes de las observaciones con la teoría geocéntrica o tolemaica, se pensaba que cada planeta estaba animado por un doble movimiento: uno alrededor de la Tierra en un gran círculo, llamado deferente, y uno alrededor de un punto móvil sobre el deferente mismo, llamado epiciclo. De la combinación de estos dos movimientos se lograba, aún con alguna aproximación, explicar los movimientos retrógrados y estacionarios de los planetas. Con el descubrimiento kepleriano de que los planetas realizan órbitas elípticas, en las cuales el Sol ocupa uno de los dos focos, la astronomía pudo desembarazarse de estos complejos y artificiosos mecanismos.

Época. Se define como época, o a veces incluso época de las coordenadas, una fecha precisa a la cual hacen referencia las Coordenadas celestes de las estrellas. A causa de los movimientos de la Tierra conocidos con el nombre de Precesión y Nutación, las coordenadas de las estrellas cambian, aunque imperceptiblemente, de año en año. Por lo tanto resulta oportuno referirse a un preciso instante de tiempo para su cómputo. La época de las coordenadas más en uso en los actuales atlas celestes y en las Efemérides es el de 1950, pero en algunas publicaciones puestas al día, ya se han introducido las coordenadas que hacen referencia al año 2000.

Equinoccio. Es el momento en que el Sol, a lo largo de su movimiento aparente anual, atraviesa el plano del ecuador celeste. Esto sucede dos veces al año: el 21 de marzo, Equinoccio de primavera y el 23 de septiembre Equinoccio de otoño en el hemisferio Norte y a la inversa en el Sur. En estas dos fechas, la duración del día es igual al de la noche para todos los lugares de la Tierra. La situación equinoccial sería perpetua si el plano de la órbita terrestre coincidiera con el del Ecuador; sin embargo, como es conocido, hay un desfase de 23° 27'. El Equinoccio de primavera también es conocido como "primer punto de Aries", y el de otoño "primer punto de Libra".

ERATÓSTENES. 276-194 a J.C. Matemático, astrónomo y geógrafo griego nacido en Cirene. Fue el primero en medir, con un error muy pequeño, la circunferencia terrestre. Sabía que cuando en Siene, la actual Assuan, en Egipto el Sol se encontraba en la vertical del observador, sus rayos formaban en Alejandría, ciudad situada a una latitud mayor, un ángulo de aproximadamente 7° con la vertical. Este ángulo es igual al formado en el centro de la Tierra por la prolonga-

ción de las dos verticales de Siene y de Alejandria, tratándose de ángulos correspondientes a dos paralelas cortadas por una transversal. En este punto, conocida la distancia lineal entre Siene y Alejandria, ERATÓSTENES dedujo fácilmente la medida de la circunferencia terrestre mediante una cualificada ecuación. ERATÓSTENES obtuvo el valor de 250.000 estadios, equivalentes a 40.000 km, que se aproxima muchísimo al determinado en nuestros días: 40.009,88 km.

Eros. Singular Asteroide del "grupo Amor", que tiene la forma de un cigarro. Eros realiza una vuelta completa alrededor del Sol en 1,8 años y su órbita está comprendida entre 1,13 y 1,8 UA. Periódicamente se aproxima mucho a la Tierra, pero sin llegar a cruzar su órbita. En enero de 1975 pasó a unos 22 millones de km de nosotros y se pudo observar incluso con un telescopio de aficionado, como un estrellita de séptima magnitud. Su estructura es la de un cuerpo oblongo, con un eje mayor de aproximadamente 35 km de largo y uno menor que apenas alcanza los 6 km. Se considera que Eros es un fragmento rocoso proveniente de una colisión entre dos asteroides de dimensiones mayores.

ERTS (satélites). Abreviatura de la frase Earth Resources Technology Satellite es decir: satélite tecnológico para los recursos terrestres. La sigla ERTS, adoptada para el lanzamiento del primer satélite de esta serie en el año 1972, fue inmediatamente abandonada y sustituida por la de "Landsat", palabra compuesta de los términos ingleses land (tierra) y sat (satélite). Estos vehículos espaciales, colocados en órbitas polares, son también llamados "los agricultores del cielo", porque observan sistemáticamente nuestro globo proporcionando preciosas imágenes en varias longitudes de onda, con las cuales es posible controlar no sólo el desarrollo de los cultivos, sino también la fauna marina y situaciones geológicas.

ESA. Sigla de la European Space Agency, la agencia espacial europea fundada en 1975 después de la disolución de dos organizaciones espaciales europeas: ESRO y ELDO. La ESA recoge, en diversas proporciones, las contribuciones de 11 países europeos: Bélgica, Dinamarca, Francia, Alemania, Inglaterra, Irlanda, Italia, Holanda, Suecia, Suiza y España. Su función primordial es desarrollar investigaciones espaciales, tanto científicas como de aplicación directa, creando los cohetes de lanzamiento necesarios e independizándose de este modo totalmente de la tecnología americana. Para 1980, el presupuesto del organismo preveía un gasto total de aproximadamente 763 millones de unidades de cuenta (1 unidad de cuenta = 1,34 dólares americanos). Uno de los primeros objetivos de la ESA ha sido desarrollar el cohete Ariane y encontrar una base de lanzamiento. Con este fin, propuesta por Francia, fue aceptada la situada en Kourou, en la Guayana francesa. El primer satélite de la ESA fue lanzado el 9 de agosto de 1975, se llamaba Cos B, y sirvió para el estudio de los rayos γ . Fue seguido de otros satélites, unos científicos como los Geos, otros aplicativos como el Meteosat. La ESA tiene programada, para los próximos años, numerosas misiones, algunas de las cuales en colaboración con la NASA. Entre las más importantes se pueden recar: la construcción del Spacelab, un laboratorio orbital tripulado por astronautas tanto europeos como americanos; la realización de la sonda automática interplanetaria Giotto para la exploración de cerca del cometa Halley la realización de satélites aplicativos para telecomunicaciones, como Marecs y L-Sat; la participación en el Space Telescope de la NASA a través de la construcción de una Faint Object

Camera. En la base de muchos de estos proyectos está el posterior desarrollo del Ariane: se pretende convertirlo en un cohete fiable para misiones tanto en órbita terrestre como interplanetaria, no sólo para utilizarlo en los programas de la ESA sino también de otros países que lo soliciten. A este propósito se ha comenzado un programa de comercialización del propio cohete.

Esfera celeste. Es una esfera imaginaria sobre cuya superficie se proyectan los astros visibles a simple vista. El concepto de esfera celeste fue introducido en las épocas de la astronomía antigua (\rightarrow *Astronomía*) y puede comprenderse perfectamente cuando uno se encuentra dispuesto a observar, en una noche serena, el cielo en un lugar con el horizonte libre. Entonces parece que los astros se encuentran todos sobre una superficie esférica de radio infinito que, con el paso de las horas, gira de Este a Oeste. Se trata obviamente de una mera apariencia: en realidad los cuerpos celestes ocupan distancias diferentes con respecto al observador; mientras que el movimiento de la esfera celeste no es otro que el de la Tierra, que gira alrededor de su propio eje de Oeste a Este. Una rotación completa de la esfera celeste, es decir, un retorno de la misma estrella al mismo punto, se realiza en 23h 56 m 04 s (día sideral). Un observador situado en uno de los dos polos, vería rotar la esfera celeste alrededor del eje vertical, que en este caso coincide con el polar; un observador situado en cualquier otro punto de la Tierra lo ve rotar alrededor del eje polar, que está inclinado con respecto al horizonte en un ángulo equivalente a la latitud del lugar.

ESO (observatorio). Sigla del "European Southern Observatory", el observatorio europeo del Sur que se levanta en Cerro La Silla, en los Andes chilenos, unos 100 km al Nordeste de la ciudad de La Serena. No lejos de este lugar, caracterizado por un cielo sereno con buen Seeing durante la mayor parte del año, los americanos también han construido su observatorio, precisamente en Cerro Tololo. La cúpula del observatorio se encuentra a 2.500 metros de altura y alberga un reflector con un espejo de 3,6 metros de diámetro. Sin embargo existen numerosos instrumentos menores, entre los cuales hay un Schmidt de 1,5 m para realizar espectrografía. El observatorio del ESO fue puesto en funcionamiento en 1969 por iniciativa de un consorcio de países europeos al cual se han adherido Bélgica, Dinamarca, Francia, Alemania, Holanda y Suecia. Desde el año 1982, también Italia ha entrado a formar parte del consorcio.

Espectro. Si se hace pasar la luz del Sol a través de un prisma ésta se descompone en una gama de colores similares a los que pueden observarse en un arco iris (rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violeta). A esta gama de colores se le da el nombre de espectro de la luz visible. Pero, en términos generales, el espectro es toda la gama de radiaciones electromagnéticas, que va desde los rayos γ a las ondas radio.

Espectroscopía. En astronomía, la espectroscopía es el estudio de los espectros emitidos por los cuerpos celestes. Cuando por medio del espectroscopio se descompone la luz proveniente de un cuerpo celeste, se obtienen tres tipos fundamentales de espectros: 1) el espectro continuo, típico de los sólidos, los líquidos y los gases llevados a la incandescencia y a altas temperaturas y presiones. Está caracterizado por una emisión continua en todas las longitudes de

onda y no presenta líneas; 2) el espectro de emisión, típico de los gases luminosos a baja presión y temperatura. Está constituido por líneas de longitud de onda definida, característica de cada especie atómica y molecular; 3) el espectro de absorción, que es una combinación de los dos primeros tipos. Se obtiene cuando se hace pasar a través de un gas la luz de un cuerpo llevado a la incandescencia y está caracterizado por líneas negras, llamadas líneas de absorción, que acompañan al espectro en la misma posición en la que el propio gas habría producido las líneas de emisión. El Sol y las estrellas presentan espectros de absorción y por las posiciones de las líneas se pueden establecer cuáles son los elementos presentes en el astro. Por ejemplo el Sol, en la parte amarilla del espectro, presenta dos líneas que ocupan la misma posición de las que aparecerían en el espectro producido por vapores de sodio llevados a la incandescencia. De esta manera se puede establecer que el sodio es uno de los elementos presentes en nuestra estrella. Los planetas y los cuerpos opacos en general, no emiten luz propia sino que reflejan la del Sol, presentando un espectro de absorción idéntico al solar, que no nos da informaciones particulares sobre la naturaleza del planeta. Sin embargo, en los planetas con envolturas gaseosas consistentes, el análisis espectroscópico puede proporcionar informaciones a cerca de su composición química.

Espectroscopio. Es un instrumento adecuado para descomponer la luz en su espectro, por medio de un prisma o de un retículo de difracción. Antes el análisis en el espectroscopio se hacía a simple vista, pero con la introducción de la fotografía los espectros son captados sobre una emulsión. Un espectroscopio dotado de un equipo EEUU financiará en un 30 % los vuelos futuros.

ESRO. Sigla de la European Space Research Organisation, que puede considerarse como el primer esbozo de cooperación entre los países europeos en el campo espacial. Fundada en el año 1964 con el fin de desarrollar investigaciones en el espacio que rodea a la Tierra, el ESRO realizó en el periodo de un decenio siete satélites científicos que fueron lanzados con cohetes y desde bases americanas; lanzó también alrededor de doscientos pequeños cohetes sonda para el estudio de la alta atmósfera. Los países que formaban parte de este organismo eran Bélgica, Dinamarca, Francia, Alemania, Inglaterra, Italia, Holanda, España, Suecia y Suiza. En 1975, la ESRO y otra organización europea similar que se ocupaba de la realización de un cohete de lanzamiento, ELDO, se fusionaron dando vida a la European Space Agency (ESA), que representa la actual agencia espacial europea, sostenida económicamente por once países.

ESSA. Sigla de la Environmental Science Service Administration, organización creada a comienzos de los años sesenta en los Estados Unidos para realizar los primeros satélites artificiales meteorológicos. Los satélites ESSA recorren órbitas polares de tal manera que podían tener bajo control a toda la Tierra. Llevaban a bordo telecámaras y sensores multispectrales para el estudio de los fenómenos meteorológicos en varias longitudes de onda. En 1970 las funciones de la "ESSA" fueron transferidas a la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Estacionamiento (órbita de). Es una técnica utilizada en los vuelos espaciales muy largos para mejorar la precisión en el alcance de objetivo. Habitualmente se aplica para las

sondas destinadas a los planetas. En un primer momento la carga útil, comprendida la última sección del misil, es colocada en una órbita alrededor de la Tierra, cuyo perigeo está comprendido entre 150 y 200 km. Más tarde, cuando el vehículo llega a un punto preciso de la órbita, son encendidos los motores de la última sección y se le imprime el empuje necesario para el vuelo interplanetario. La órbita de estacionamiento ha sido utilizada también como escalón intermedio antes de que un satélite artificial fuese puesto en órbita geoestacionaria a 36.000 km de altura. También para las misiones lunares de la serie Apolo, la órbita de estacionamiento alrededor de la Tierra era un paso obligado antes del salto hacia nuestro satélite natural.

Estaciones espaciales. Grandes construcciones espaciales que deberán ser colocados en órbita alrededor de la Tierra entre finales del siglo XX y comienzos del siguiente, con el fin de desarrollar actividades de investigaciones por parte de tripulaciones humanas permanentes o semipermanentes. En el vacío del espacio que rodea a la Tierra, en efecto, es posible efectuar observaciones de nuestro planeta, de los otros planetas y de las estrellas, de gran valor geológico, geofísico y cosmológico; por otra parte, en ausencia de peso y en vacío absoluto, pueden experimentarse tanto trabajos industriales como químico-farmacéuticos imposibles de llevar a cabo en suelo terrestre. La primera idea de construir estaciones en el espacio fue adelantada en 1923 por el pionero alemán de la astronáutica Hermann OBERTH. Pero el primer proyecto concreto de estación espacial es el desarrollado por la US Air Force en 1960, que preveía la construcción de un MOL (manned Orbiting Laboratory), conducido por astronautas del tipo Géminis, que habría servido para observaciones de carácter militar. El proyecto nunca se desarrolló y fue abandonado definitivamente en 1969. Sin embargo, en aquel mismo año, la NASA desarrolló un nuevo proyecto de estación espacial a partir de las astronautas Apolo, que se desarrollaría en los años 70 después de concluido el programa lunar. La primera estación orbital había debido albergar a 12 hombres; una sucesiva versión mejorada habría podido contener hasta 50 astronautas. Pero también este proyecto, a causa de cortes en los presupuestos de la NASA, es abandonado. Mientras tanto, la Unión Soviética pone en órbita, el 19 de abril de 1971, la Salyut, que puede considerarse como la primera estación espacial realizada por el hombre. Entonces los americanos pusieron en marcha el programa Skylab, el laboratorio orbital que es lanzado el 14 de mayo de 1973. A la Salyut soviética la sucedieron otras estaciones; en cambio el Skylab, ha quedado como el único intento americano en este sentido. De todos modos, ambos no son más que realizaciones rudimentarias de una estación espacial, habiéndose desarrollado a partir de las etapas superiores de misiles. La primera estación espacial auténtica será el laboratorio europeo Spacelab, que será lanzado por medio de una lanzadera espacial Space Shuttle. Y es a este transbordador espacial reutilizable al que se ha confiado la realización de las futuras estaciones espaciales orbitales americanas, construidas con elementos modulares llevados a su órbita correspondiente en vuelos sucesivos.

Estado estacionario (teoría). Es una teoría cosmológica formulada en 1948 por Hermann BONDI y Thomas GOLD, y sucesivamente ampliada por Fred HOYLE, según la cual el Universo siempre ha existido y siempre existirá. Punto básico de esta teoría es el hecho de que el Universo, a pesar de su proceso de expansión, siempre mantiene la misma densidad gracias a la creación continua de nueva materia.

Esta teoría, que estuvo en auge durante los años 50, ha sido sucesivamente rechazada por la mayoría de los astrónomos quienes apoyan ahora la teoría del Big Bang.

ESTEC. Sigla de la European Space Research and Technology Centre, un centro de investigaciones espaciales perteneciente a la Agencia espacial europea (ESA) y que tiene su sede en Noordwijk, en los Países Bajos. En la ESTEC se realiza la gestión del prestigioso programa Spacelab, el gran laboratorio espacial europeo que será transportado por el Space Shuttle americano y puesto en órbita alrededor de la Tierra.

Estrella. Es un cuerpo celeste que brilla emitiendo luz propia. En términos generales, una estrella está formada por una esfera de gas que se mantiene a elevadísimas temperaturas en virtud de los procesos termonucleares que se desarrollan en su interior. Nuestro Sol es una típica estrella de medianas dimensiones. Observando a simple vista, en una noche serena, podemos distinguir alrededor de tres mil estrellas. Sin embargo, ya en uno de los más gigantescos catálogos estelares, el Palomar Sky survey realizado con el telescopio Schmidt de 122 cm de Monte Palomar, pueden contarse más de 800 millones de estrellas. El número de estrellas existente en el Universo es enorme: sólo en nuestra Galaxia se encuentran 100 mil millones. Las estrellas se forman como consecuencia de la condensación de grandes nubes de gases y polvos existentes en el Universo. Acontecimientos como una colisión entre dos de estas nubes o variaciones de temperatura y presión en el interior de una de ellas, inducidas por la actividad de estrellas cercanas, provocan fenómenos de colapso gravitacional: las partículas de gas polvo, entonces, caen hacia un centro de gravedad. Una gran nube puede fragmentarse en muchos pedazos, cada uno de los cuales entra en colapso hacia un centro propio: en este caso, cada parte de la nube puede darle vida a una estrella. Por efecto del colapso la temperatura de la nube aumenta gradualmente, hasta alcanzar valores de una decena de millones de grados: en este punto se desencadenan esas reacciones nucleares que dan vida a una estrella y le proporcionan energía durante toda su existencia.

Estrella Doble. Si observamos las estrellas en una noche serena, muchas de ellas se nos aparecerán aisladas, pero próximas a otra estrella. Este hecho puede estar determinado simplemente por un efecto de perspectiva, por el cual dos estrellas, en realidad muy alejadas entre sí, y que sin embargo se encuentran en nuestra línea visual, se nos muestran una al lado de la otra. En este caso se habla de dobles ópticas. En cambio, cuando las dos estrellas están unidas físicamente, en el sentido que rotan la una alrededor de la otra, se habla de dobles físicas. En muchos casos las estrellas mantenidas juntas por fuerzas gravitacionales son más de dos, y entonces se llaman sistemas múltiples. Un típico sistema múltiple es el de Ursae Maioris, estrella del Gran Carro conocido también con el nombre de Mizar. En este caso junto a Mizar, que tiene una magnitud de $2^m,1$, es posible ver a simple vista, y aproximadamente a $11''$ de distancia, otra pequeña estrella denominada Alcor. Una tercera compañera, aproximadamente de la misma luminosidad de Alcor, pero mucho más próxima, es apreciable sólo a través de un binocular o un telescopio. Pero esto no es todo: el sistema tiene otras componentes invisibles, cuya presencia ha sido establecida por pequeñas oscilaciones de las estrellas visibles. Otro sistema típico es el de α Centauri. Las dobles físicas no son en absoluto una rareza, ya que representan la gran mayoría de las estrellas. Según recientes estadísticas, el 46 % de las estrellas está constituido por

dos componentes unidas gravitacionalmente; el 39 % por sistemas múltiples y el 15 % por estrellas simples como nuestro Sol. Según las modalidades de observación, las estrellas dobles físicas se subdividen en varios tipos: 1) Dobles visuales, cuando las componentes pueden observarse directamente con un instrumento óptico. 2) Dobles astrométricas, cuando una componente es demasiado débil para ser vista directamente y su presencia se presume por medidas astrométricas, es decir por pequeños movimientos que la estrella principal, apreciable a simple vista, realiza como consecuencia de su unión gravitacional con la compañera a su vez invisible. 3) Dobles espectroscópicas, cuando por la presencia de dos o más componentes rotantes se determinan desplazamientos periódicos de las longitudes de onda de las bandas espectrales, a causa del efecto Doppler. 4) Dobles de eclipse, cuando la duplicidad se revela por las variaciones regulares de luminosidad de una estrella a causa del paso periódico de la compañera delante de ella. En este caso, se habla también de variable a eclipse. El ejemplo más famoso de una estrella de este tipo es Algol. Las estrellas dobles tienen una notable importancia astrofísica, porque del análisis de sus órbitas se puede determinar la masa, las dimensiones y, por lo tanto, profundizar en los estudios sobre la evolución estelar. En otros casos, a causa de la proximidad de las dos componentes, se observa un fluir del gas atmosférico de una estrella hacia la otra, acompañado por fenómenos de emisión electromagnética muy llamativos. Las estrellas dobles son uno de los objetos más observados por los astrónomos, tanto por su belleza como por representar una óptima prueba para establecer la calidad de su equipo óptico. En muchos textos de astronomía se ha difundido el uso de referirse a las estrellas dobles con el término de "estrellas binarias": las dos maneras son perfectamente equivalentes.

Éter. Hacia finales del siglo XVIII, con el descubrimiento de la naturaleza ondulatoria de la luz, se pensó que así como las ondas sonoras necesitan de un medio, el aire, para propagarse, también las ondas luminosas se transmitirían gracias a un medio que fue denominado "éter cósmico". Como nadie había logrado demostrar su existencia, se le atribuía propiedades excepcionales: llena todo el espacio, es absolutamente transparente a la vista, carente de peso y de roce (condición esta última necesaria porque, de lo contrario, los cuerpos celestes habrían sufrido impedimentos al moverse a través del éter). Correspondió al genio de EINSTEIN "tirar por la ventana al viejo y superado éter", como escribió el físico George Gamow, y sustituirlo con el concepto más amplio de campo electromagnético, al cual atribuyó una realidad física. La luz, como las otras radiaciones del espectro, no es otra cosa que una vibración del campo electromagnético y no hay necesidad de recurrir a ningún medio para explicar su propagación. La palabra éter ha permanecido, sin embargo, en uso. Aún hoy se suele leer, por ejemplo, transmisiones por cable y transmisiones por éter: se trata de un uso inadecuado, útil sólo para distinguir dos tipos diferentes de canalización de una señal.

Eudoxio de Cnido. 408-355 a. J.C. aprox. Astrónomo griego, alumno del gran filósofo Platón, a quien se debe uno de los primeros sistemas geocéntricos, después adoptado y ampliado por ARISTÓTELES (384-322 a. J.C.). En el sistema de EUDOXIO, llamado también de las esferas homocéntricas (con un centro común), nuestro planeta era colocado en el centro del Universo y los siete cuerpos celestes conocidos en aquella época, fijados a siete grupos de esferas de dimensiones crecientes. El primer grupo, formado por tres

esferas, pertenecía a la Luna; el segundo, formado por otras tres esferas, al Sol; los otros planetas entonces conocidos (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno) ocupaban cada uno un grupo de cuatro esferas. Cada cuerpo celeste se imaginaba fijado a la esfera más interna del propio grupo y las esferas de cada grupo estaban conectadas entre sí mediante un sistema de ejes polares desfasados. Todo este complicado mecanismo era necesario para justificar los movimientos aparentes de los planetas que, como es sabido, según los periodos del año, parecían tener movimiento directo, retrógrado o estacionario.

EULER, Leonardo. 1707-1783 Célebre sobre todo como matemático, el suizo EULER se ocupó también de la física, pasando de los fenómenos magnéticos y eléctricos a la óptica y a la acústica (en la que contribuyó con estudios sobre la velocidad de propagación del sonido). En 1747, después de varios experimentos, publicó una obra en la cual demostraba matemáticamente la posibilidad de realizar objetivos acromáticos. En los que resultarían corregidas las aberraciones cromáticas. NEWTON, considerando imposible esta corrección, había inventado el telescopio astronómico por reflexión (también llamado newtoniano), donde en lugar de una lente hay un espejo parabólico que envía los rayos luminosos al mismo foco, evitando el fenómeno de la aberración cromática. Precisamente a causa de la gran autoridad de NEWTON, las afirmaciones de EULER no lograron ser aceptadas y las primeras lentes de J. DOLLOND (1706-1761). En el campo astronómico. EULER estudió las perturbaciones de Júpiter y de Saturno. Los cometas, las irregularidades del movimiento de la Luna y la precesión de los equinoccios.

Europa. Es el más pequeño de los cuatro principales satélites de Júpiter, llamados también galileanos porque fueron descubiertos por el gran científico italiano en el año 1610, inmediatamente después de haber inventado el telescopio. Está en órbita a una distancia media de 671.000 km del planeta, con un periodo de 3,5 días; tiene un diámetro de 3.125 km, una masa de aproximadamente 2/3 con respecto a la de la Luna y una densidad tres veces la del agua. Ha sido explorado por primera vez en 1979 por el Voyager 1, y presenta una costra helada con una red de evidentes surcos.

Evolución estelar. Ningún astrónomo ha podido seguir nunca la vida de una estrella desde su nacimiento hasta su muerte. Los tiempos en los que se desarrolla este ciclo son del orden de miles de millones de años. Sin embargo, observando en el cielo estrellas recién nacidas, jóvenes, en edad madura y próximas a su fin, ha sido posible tener una idea de las diversas etapas de la evolución estelar. De este modo, sobre todo a partir de finales del siglo XIX y en el transcurso del XX, se han formulado diversas teorías a este propósito y con los nuevos datos que de vez en cuando surgen, ha sido posible trazar un cuadro del ciclo existencial de las estrellas que exponemos a continuación. Nacimiento. Ahora ya parece cierto que toda estrella tiene su origen en la materia estelar, bajo forma de gases y polvos, el cual se encuentra esparcido un poco por todo el Universo. Cuando se producen fenómenos físicos que afectan la dinámica de esta materia, se puede condensar bajo forma de glóbulos, que constituyen el embrión de una estrella. Un fenómeno de este tipo se habría producido en uno de los brazos en espiral de nuestra Galaxia, donde una gran nube interestelar se fraccionó en tantos glóbulos que dieron vida a otras tantas estrellas: una de ellas es el Sol. En cada glóbulo se forma un núcleo de atracción central, que actúa como reclamo

sobre la materia que está alrededor. La progresiva concentración genera calor y el núcleo pasa de una temperatura de algunas decenas de Kelvin (alrededor de $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$) a 1.000 K. En esta fase la protoestrella comienza a irradiar en el infrarrojo y puede percibirse instrumentalmente. Fenómenos de este tipo se observan en algunas nebulosas lejanas. Infancia. Esta fase de la vida de una estrella, como toda la duración de su ciclo evolutivo, se desarrolla en tiempos que dependen de la cantidad del material en el que el astro tiene su origen: cuanto mayor es la masa de la nebulosa protoestelar, más rápida es la vida de la estrella. La infancia de una estrella es un periodo caracterizado por gran turbulencia e inestabilidad. Continuando el proceso de agregado de la materia en torno al centro de atracción, la temperatura crece. Cuando alcanza valores de algunos millones de Kelvin, se inician las primeras reacciones de fusión nuclear y comienza la emisión de radiaciones luminosas: la estrella se enciende. Sin embargo, la condición para que las reacciones nucleares tengan lugar es que la masa de la protoestrella no sea inferior en un décimo con respecto a la del Sol. En las estrellas de mediana magnitud el ciclo nuclear fundamental que se instaura es el llamado protón-protón, que lleva a la transformación de hidrógeno en helio, con la liberación de grandes cantidades de energía con temperaturas que no superan los $15 \cdot 10^6$ K. En las estrellas más sólidas, más macizas, se llevan a cabo reacciones termonucleares más eficientes: el llamado ciclo carbono-nitrógeno-oxígeno, con temperaturas superiores a los $15 \cdot 10^6$ K. Madurez. También esta fase es diferente según se tomen en consideración estrellas de peso medio como el Sol, o bien más macizas que él. En el primer caso la madurez es un periodo largo, de aproximadamente diez mil millones de años, en el que la estrella emite energía de manera estable a través de la reacción nuclear protón-protón. En el caso de estrellas más macizas, por ejemplo una decena de veces más que el Sol, la fase de madurez apenas dura 10 millones de años, en el curso de los cuales el astro tiene una luminosidad diez mil veces mayor que el Sol. Vejez. El fin del combustible nuclear marca también la conclusión del periodo de estabilidad de una estrella y el comienzo de periodos más complejos, que llevan al astro a cambiar radicalmente sus características físicas. El núcleo se contrae, la temperatura central sigue aumentando, las capas externas se expanden desmesuradamente y la estrella se convierte en una de las llamadas gigantes rojas. En el caso del Sol, se prevé que experimentará una dilatación hasta tragarse la Tierra. En cuanto a los procesos de fusión nuclear, estos continuarán afectando progresivamente a elementos cada vez más pesados. Muerte. Llegada a la etapa de gigante roja, una estrella continúa tomando energía a través de sucesivas contracciones del núcleo. Sin embargo las elevadas temperaturas que se desarrollan determinan destructoras expulsiones de las capas más externas; la estrella disipa hacia el espacio su materia, dando origen a una nebulosa planetaria como aquella, típica, que se observa en la constelación de la Lira. Después de estos fenómenos, no queda del astro más que un pequeño núcleo inerte en progresivo enfriamiento. El Sol terminará su existencia convirtiéndose en una enana blanca. Diferente es, una vez más, la agonía de las estrellas más macizas que el Sol. Ponen fin a su vida con una gran explosión, convirtiéndose en eso que los astrónomos llaman supernova, son los astros que por un breve tiempo emiten enormes cantidades de luz y radiaciones, para después apagarse definitivamente. En algunos casos el núcleo residual de estas estrellas es involucrado en un proceso de colapso de la materia, que transforma los despojos cósmicos en un objeto paradójico: de él nacen astros superdensos como las estrellas de neutro-

nes, en las cuales un solo cm de materia pesa tanto como la Tierra, o incluso astros tan macizos que la fuerza de atracción gravitacional no deja escapar ni siquiera la luz. Se trata de los llamados agujeros negros. Las principales evoluciones físicas que acompañan el ciclo vital de una estrella, es decir las variaciones de temperatura y luminosidad del astro en las diversas edades, son representadas por los astrónomos en un gráfico muy famoso llamado diagrama Hertzsprung-Russell del nombre de los dos estudiosos que, independientemente el uno del otro, lo construyeron a comienzos del siglo XX.

Excentricidad. Es una medida del aplanamiento de una órbita. Cuanto más se separa la órbita de un cuerpo celeste de la circunferencia para adquirir la forma ovalada, mayor es su excentricidad. Se mide con un número comprendido entre 0 y 1.

Expansión del Universo. Con este término se indica la fuga aparente de las lejanas galaxias, determinada gracias al efecto Doppler desde finales de los años 20. Fue en 1929 cuando el astrónomo E. HUBBLE (1889-1953) se dio cuenta que las velocidades de alejamiento o recesión, como se dice con el vocablo más apropiado, de las galaxias aumentaban con el crecimiento de sus distancias. Este descubrimiento da origen a la teoría cosmológica del Big Bang. La hipótesis de que toda la materia del Universo, en una época que se hace remontar a 15 - 18 mil millones de años, estaba concentrada en una esfera y que, como consecuencia de la explosión de ésta, comenzó a expandirse. La expansión continuaría actualmente y es la que los astrónomos miden bajo la forma de desplazamiento hacia el rojo de las bandas espectrales de las lejanas fuentes galácticas.

Explorer. Larga serie de satélites científicos americanos lanzados para el estudio del espacio interplanetario, para investigaciones geofísicas y astronómicas. El Explorer 1, puesto en órbita el 1 de febrero de 1958, fue también el primer satélite lanzado por los Estados Unidos, después de que los soviéticos hubieran ya lanzado dos Sputnik, el segundo de los cuales llevaba a bordo una perra de nombre Laika. Sin embargo, el primer Explorer americano obtuvo un importante logro científico con el descubrimiento de los cinturones de Van Allen que rodean la Tierra. Otros notables resultados obtenidos por los sucesivos Explorer fueron los siguientes: el análisis de la ionosfera terrestre (Explorer 20, 24, 27); medida de la composición, densidad, presión y otras propiedades de la alta atmósfera (Explorer 32); medida del campo magnético terrestre (Explorer 33, 34, 35); investigación radioastronómica de la órbita terrestre (Explorer 38, 49); análisis de las partículas meteóricas (Explorer 46); medida de los rayos cósmicos (Explorer 48). A partir de 1965, la serie de satélites científicos es continuada, pero se empiezan a denominar los satélites con una sigla particular que indica la función específica desarrollada por el propio satélite: por ejemplo ISEE (International Sun-Earth Explorer).

Extraterrestre. Esta palabra puede tener dos significados: referido a un objeto indica cualquier cuerpo o situación física que se encuentra fuera de nuestro planeta; referida a la biología, cualquier forma vital (o uno de sus elementos de base) desarrollada fuera de nuestro planeta. Uno de los problemas más debatidos por la Astrobiología es la existencia de seres vivos y de formas inteligentes en otros planetas. La Astrofísica ha contribuido a la resolución de este pro-

blema demostrando que en todo el Universo explorado predominan las mismas leyes naturales y la misma química. Por lo tanto, la mayor parte de los astrónomos actuales cree que la repetición de condiciones análogas a las que se verifican en la joven Tierra pueda haber llevado, en eventuales planetas de otras estrellas, al desarrollo de formas vivas similares a las de nuestro planeta. Los extraterrestres, en el sentido de seres inteligentes que podrían vivir en otros sitios, se han convertido así, de personajes exclusivos de novelas de ciencia ficción, en una hipótesis formulada sobre bases científicas. En lo relativo a los intentos de contacto con eventuales civilizaciones extraterrestres.

Extra vehicular (actividad). Es el trabajo que realizan los astronautas saliendo al exterior de la cabina presurizada con la finalidad de realizar experimentos científicos, o bien de construir estructuras en el espacio. Para desarrollar la actividad extra-vehicular se han estudiado y fabricado trajes especiales que aseguran al cuerpo del astronauta la atmósfera y la presión necesarias para vivir y protección contra las radiaciones nocivas, así como sistemas de propulsión, que permiten al astronauta realizar movimientos en las condiciones de ausencia de peso y de fricción en que se encuentra. El primer hombre en realizar una actividad extravehicular, allanando así el camino para sucesivos experimentos, fue el astronauta soviético Aleksei LEONOV. El 18 de marzo de 1965, durante el vuelo a bordo de la Voskhod 2, salió de la astronave y permaneció fuera, sujeto con un cordón umbilical, durante diez minutos. Sucesivos intentos fueron llevados a buen fin por los astronautas americanos del proyecto Géminis. Larga y fructífera ha sido la actividad extra-vehicular llevada a cabo por los astronautas del Apolo sobre la superficie lunar.

F

Fácua. Es una mancha blanca, con unas dimensiones de varios miles de kilómetros, que aparece sobre la superficie fotosférica del Sol cerca de las manchas solares. Se piensa que las fáculas corresponden a regiones en las que se manifiestan elevados campos magnéticos y temperaturas más elevadas que las de la fotosfera. El mayor brillo de las fáculas sería por lo tanto debido a su temperatura más alta. Las fáculas pueden verse fácilmente con un telescopio común de aficionado, observando, el disco solar con el método de la proyección, haciendo salir el cono de luz fuera del ocular y recogiendo la imagen en una pequeña pantalla, incluso de papel. Estos fenómenos se evidencian mejor sobre el borde del Sol. El primero en estudiar las fáculas y darles este nombre, fue GALILEO alrededor de 1610.

Fase. Es la porción de un cuerpo celeste iluminada por el Sol, que varía con la posición relativa de los dos astros con respecto al observador. La Luna y dos planetas interiores, Mercurio y Venus, muestran un ciclo completo de fases: el oscurecimiento total (o Luna nueva en el caso de nuestro satélite natural), que corresponde a la situación en que el hemisferio iluminado por el Sol no es visible; la dicotomía o primer cuarto, cuando sólo es visible medio hemisferio iluminado; la iluminación total (Luna llena en el caso de nuestro satélite natural); el último cuarto. Los planetas exteriores no muestran a la órbita de la Tierra un efecto de fase, como puede intuirse, porque siempre dirigen hacia el observador terrestre el hemisferio iluminado por el Sol.

Febe. Es el satélite más lejano de Saturno. Se encuentra a una distancia media del planeta de 12.930.000 km, y realiza una vuelta alrededor del planeta en 550 días, desplazándose en sentido retrógrado (es decir horario). Descubierta en 1898 por el astrónomo americano William H. PICKERING, Febe tiene un diámetro de aproximadamente de 140 km.

FERMI, Enrico. 1901-1954 Universalmente conocido como el realizador de la primera fisión nuclear en el mundo, que entró en funcionamiento en Chicago el 2 de diciembre de 1943, abriendo al hombre el camino para el aprovechamiento de la energía nuclear. Premio Nobel 1938 por sus investigaciones sobre la radioactividad y por el descubrimiento de reacciones nucleares mediante el bombardeo con neutrones lentos, Enrico FERMI ha tenido un papel importante en algunas investigaciones de astrofísica. En el campo de los rayos cósmicos explicó las altísimas energías a las que llegan los componentes primarios con un efecto de aceleración por parte de los campos magnéticos existentes en el espacio interestelar. Junto con el astrofísico S. Chandrasekhar (nacido en 1910), desarrolló una teoría que explica la estabilidad de los brazos en espiral de nuestra Galaxia con la acción del campo magnético interestelar. Otro estudio suyo considera los mecanismos de emisión de la radiación del sincrotrón. El último periodo de su actividad científica, a partir de 1949, estuvo dedicado a una amplia serie de investigaciones experimentales sobre las propiedades de difusión de los mesones por parte de los protones. En 1953, un año antes de su muerte, FERMI fue elegido presidente de

la American Physical Society. Entre sus numerosas publicaciones, recordemos su contribución a la física atómica y Partículas elementales.

Filtro. Es un dispositivo óptico que sirve para modificar tanto la cualidad como la cantidad de las radiaciones luminosas emitidas por un astro. Un filtro, en general, está constituido por una lámina de caras planas y paralelas coloreada. Puesto en el trayecto óptico de un telescopio, tiene la función de dejar pasar sólo algunas longitudes de onda de la luz. Un filtro amarillo, por ejemplo, que es uno de los que más se emplean en astronomía, absorbe las longitudes de onda comprendidas entre el ultravioleta y el verde, y deja pasar las amarillas, anaranjadas y rojas. Su efecto sobre la imagen de un planeta o de la Luna, es por lo tanto, el de reducir la reverberación debida al exceso de brillo y aumentar el contraste. En caso de que se quiera reducir la luminosidad de un astro en todas las longitudes de onda que emite, se utilizan los denominados filtros neutros. En cambio, si se quiere aislar un estrecho intervalo de longitudes de onda para el estudio de fenómenos visibles sólo en luz monocromática (por ejemplo, algunos detalles de la superficie solar que se hacen bien visibles a las longitudes de onda emitidas por el hidrógeno), se utilizan filtros llamados interferenciales, porque usufructúan el fenómeno de la interferencia de la luz para dejar pasar sólo las radiaciones de una estrecha banda del espectro.

Fisión. Proceso por el cual el núcleo de un elemento pesado se divide en dos partes con emisión de neutrones y liberación de energía. La fisión es el proceso empleado por primera vez por Enrico FERMI para hacer funcionar la primera pila atómica. Los productos fisionables típicos son el uranio y el plutonio.

FIZEAU, Armand. 1819-1896 Amigo y colaborador de FOUCAULT (1819-1868), realizó junto con él, entre 1845 y 1849, las experiencias fundamentales que llevaron a la determinación de la velocidad de la luz. A él se deben estudios teóricos y experimentales sobre diversos fenómenos ópticos, entre los cuales está la correcta interpretación del efecto Doppler.

FLAMSTEED, John. 1646-1719 Astrónomo inglés, nombrado primer astrónomo real por Carlos II en 1675. Al año siguiente comenzó a trabajar en el Observatorio de Greenwich, construido por él, para llevar a término el encargo de recopilar tablas del movimiento lunar alrededor de la Tierra y un catálogo estelar. El más arduo problema de navegación era, en esta época, la determinación de la longitud, que podía hallarse calculando la diferencia entre la hora local obtenida mediante la observación del Sol o de las estrellas, y una hora de referencia. Esta referencia podía estar constituida, por ejemplo, por la posición de la Luna con respecto a las estrellas durante su recorrido alrededor de la Tierra, pero como los objetos celestes aún no habían sido localizados con suficiente exactitud, FLAMSTEED se dispuso a lograr este objetivo. En su *Historia Coelestis Britannica*, el primer

gran catálogo estelar recopilado con ayuda del telescopio, están determinadas con gran precisión las posiciones de 2.935 estrellas dispuestas, en cada constelación, en orden de ascensión recta creciente. FLAMSTEED llevó también a cabo observaciones sobre planetas y calculó, basándose en las manchas solares, el periodo de rotación del Sol.

Flare (estrellas). Estrellas variables que aumentan de una forma imprevista centenares de veces su luminosidad para volver después a las condiciones iniciales. Se considera que este comportamiento suyo se debe a fenómenos de inestabilidad energética unidos a su joven edad. El prototipo de las estrellas flare es la variable UV CETI.

Flare solar. Imprevisto aumento de luminosidad de la cromosfera solar. En castellano se dice Relumbrón.

Flóculos. Se trata de detalles característicos de la superficie solar, no visibles con un telescopio corriente y sí con el espectroheliógrafo. Observaciones de la cromosfera en longitudes de onda muy estrechas, correspondientes a las emisiones del hidrógeno y del calcio, han revelado una verdadera red formada por manchas claras y oscuras, que se piensa se deba a flujos de gas incandescente sujetos a los fuertes campos magnéticos. Los flóculos claros están compuestos, predominantemente, de calcio; los oscuros de hidrógeno.

Fobos. Es el mayor de los dos satélites de Marte, orbita a 9.380 km del planeta realizando alrededor suyo una vuelta completa en 7 horas y 39 minutos. Su periodo de rotación es idéntico al de revolución, y por lo tanto este cuerpo, como nuestra Luna, dirige a su planeta siempre la misma cara. Fobos tiene la forma de una patata alargada y con picaduras, con dimensiones de apenas 27 x 21 x 19 km; está considerada por lo tanto, como su más pequeño hermano Deimos, un asteroide capturado por el planeta. Su masa es de $9,6 \cdot 10^{15}$ kg y su densidad de $1,9 \text{ g/cm}^3$. Las propiedades físicas de Fobos se conocen desde hace relativamente poco tiempo, cuando la sonda espacial Mariner 9 la fotografió de cerca de 1971. Antes de esa fecha el satélite de Marte había hecho fantasear a muchos astrónomos. Especulando sobre el hecho de que su movimiento alrededor del planeta está en leve pero constante aceleración, y atribuyendo este fenómeno a una diferencia de órbita debida al frenamiento (y por lo tanto al descenso hacia una órbita más baja y veloz) por parte de la rarificada atmósfera marciana, Carl SAGAN y otros habían avanzado la hipótesis de que sólo un cuerpo hueco en su interior y de baja densidad, como un satélite artificial, había podido experimentar este singular fenómeno. Un astrónomo ruso, F. ZIGEL, incluso había llegado a afirmar que, habiendo sido descubierto por Asaph HALL en 1877 y por J HERSCHEL, que lo había observado con un instrumento mayor y en condiciones mucho más favorables durante la oposición de Marte en 1862, el satélite artificial Fobos habría sido lanzado por los marcianos precisamente entre 1862 y 1877. Para demostrar cómo el mito de que el planeta Marte estaba habitado, alimentado por LOWELL en los primeros años del siglo XX, estaba aún vivo durante los años 60, se lanzó la hipótesis de que una civilización marciana en vías de extinción, había sido obligada a poner en órbita grandes estaciones espaciales para estar a salvo de cualquier tipo de catástrofe natural. Las exploraciones desde cerca de Marte y sus satélites efectuadas por los Mariner, echaron por tierra muchas suposiciones y todo lo extraño que puede decirse ahora de Fobos es que parece una

patata comida por una langosta, como lo ha definido Carl SAGAN después de haberse desengañado. Sobre las fantásticas especulaciones concernientes a la existencia de habitantes en el planeta rojo se habla en la voz Marte.

Focal (distancia). Es la distancia entre el objetivo de un instrumento óptico, ya sea una lente o un espejo, y el punto en el que se forma la imagen de un objeto situado en el infinito. Desde este punto de vista, cualquier objeto astronómico se considera situado en el infinito, aunque en realidad se encuentre a una distancia finita. La distancia focal depende de cómo haya sido construida la lente o el espejo. Cuanto mayor es la distancia focal, más grandes son las dimensiones de la imagen que se forma en el foco.

Focal (relación). Es la relación entre la distancia focal de un objetivo y su diámetro. Por ejemplo, en el caso de un telescopio con un objetivo de 100 cm de distancia focal y 10 cm de diámetro, la relación focal es equivalente a 10. Esto se indica con el símbolo $f/10$. El significado de la relación focal de un telescopio es completamente similar a la relación focal de un objetivo fotográfico. Cuanto más pequeño es el valor de f , mayores serán su luminosidad y el campo visual que abarque en profundidad. De este modo, un telescopio que se utilice preferentemente para el estudio de objetos estelares débiles, es conveniente que tenga una relación focal comprendida entre $f/5$ y $f/8$; en cambio si el instrumento es empleado para la observación planetaria, donde la cantidad de luz a disposición es mayor y se tiene interés en obtener imágenes más grandes, conviene adoptar telescopios con $f/12$ y más aún.

Foco. Punto en que el objetivo de un telescopio hace converger los rayos de una fuente celeste situada a una distancia infinita. → *Focal, distancia*.

Fotometría. Es el estudio de las variaciones luminosas de un objeto celeste. Es clásico el caso del estudio de las fluctuaciones luminosas de las estrellas Variables, con el fin de determinar la curva de luz y las causas de tales variaciones. Sin embargo la fotometría se aplica también al estudio de objetos que pueblan nuestro sistema solar, para extraer indicios indirectos sobre su constitución física y sus características dinámicas. En una época, la fotometría se realizaba a simple vista, sin el auxilio de instrumentos, y las medidas de luminosidad de un cuerpo celeste se efectuaban por comparación con estrellas de magnitud bien conocida. Hoy se recurre, en cambio, a sofisticados instrumentos llamados Fotómetros, que aseguran una mayor precisión y fiabilidad de las determinaciones.

Fotómetro. Los fotómetros modernos, llamados fotómetros fotoeléctricos, son instrumentos capaces de captar variaciones de luminosidad de un objeto celeste equivalentes a un centésimo de Magnitud y, por lo tanto, son empleados en los estudios de fotometría. Se basan en circuitos electrónicos que comprenden células fotoeléctricas (que transforman un impulso luminoso en una variación de corriente eléctrica) y en tubos fotoamplificadores (que amplifican muchísimo la señal que reciben). Estos instrumentos ya no son de uso exclusivo de los más avanzados observadores astronómicos sino que gracias a la enorme difusión de la microelectrónica se encuentran también en el mercado de la astronomía amateur, de tal forma que los aficionados, y en particular los observadores de estrellas variables, pueden emplearlos en sus estudios.

Fotón. Los físicos han podido establecer que cuando un rayo de luz es absorbido por la materia, la energía que ésta recibe son cantidades finitas, o cuantos. Un cuanto de luz es llamado fotón. El fotón puede definirse también como la partícula de luz más pequeña.

Fotosfera. Literalmente, esfera de luz, la fotosfera es la superficie visible del Sol. Debe precisarse que cuando se dice superficie no se hace referencia, en este caso, a una superficie sólida, ya que la fotosfera está formada por una capa de gas. Casi toda la luz que nosotros recibimos del Sol proviene de la fotosfera, aunque la fuente de energía se encuentre mucho más abajo, en el núcleo solar. La fotosfera tiene un espesor de aproximadamente 300 km y temperaturas medias de 6.000 grados.

FOUCAULT, Jean Bernard. 1819-1868 Físico y óptico, hizo una gran contribución a la astronomía en diversos campos de investigación. En 1851, con el célebre experimento del péndulo, demostró la rotación de la Tierra. Como es sabido, una masa oscilante tiende a mantener inmutable su plano de oscilación. FOUCAULT, basándose en este principio, suspendió un alambre de acero de 67 m de largo en una cúpula en el interior del Pantheon en París. En la extremidad inferior del alambre había una esfera de acero con una punta que trazaba, en cada oscilación, surcos sobre una capa de arena colocada en el pavimento. Si la Tierra gira alrededor de su propio eje, dice FOUCAULT, la dirección de los surcos trazados cada vez, debe cambiar con el transcurrir de las horas. Su cálculo se mostró exacto y el movimiento rotatorio de nuestro planeta fue así, por primera vez, demostrado de manera experimental. Algunos años antes, con la colaboración de FIZEAU (1819-1896), había determinado la velocidad de la Luz. Sin embargo su mayor contribución a la astronomía observativa consiste, sin lugar a dudas, en la invención del método para construir espejos parabólicos, abriendo así el camino al desarrollo de los modernos telescopios de reflexión. En 1857, FOUCAULT fue el primero en poner a punto, gracias a este método suyo, una superficie reflectora de vidrio plateado en lugar de las metálicas utilizadas hasta ese momento. Esta tenía una apertura de 10 cm y una distancia focal de 50 cm: comparable al modestísimo instrumento que hoy emplearía un apasionado de la astronomía.

Fraunhofer, Joseph. 1787-1826 Óptico, físico y astrónomo alemán cuyo nombre está unido a las bandas o rayas oscuras del espectro solar (precisamente las llamadas bandas de FRAUNHOFER). Mientras medía el índice de refracción de las lentes que debía utilizar en sus instrumentos, FRAUNHOFER notó que el espectro derivado de la descomposición de la luz solar no era continuo, sino surcado por numerosas líneas oscuras (de las cuales él identificó muchas, llamándolas con las primeras letras del alfabeto). La posición de las líneas no cambiaba aunque se tratase de luz solar directa o fuese luz solar reflejada por los planetas o por la Luna; pero si analizaba la luz proveniente de alguna otra estrella, las líneas mostraban una localización diferente. FRAUNHOFER, que era un excelente constructor de instrumentos ópticos, construyó el primer espectroscopio, compuesto de un colimador, un prisma y un anteojito, y abrió el camino a los estudios sobre la composición química de las estrellas. Cada línea oscura, como hoy sabemos gracias a los sucesivos trabajos de KIRCHOFF y von Bunsen, representa un elemento químico, presente alrededor de la estrella, el cual intercepta, absorbiéndola, parte de la luz emitida por la propia estrella.

Frecuencia. La frecuencia de una oscilación es el número de veces que la propia oscilación se repite en un periodo de tiempo unitario. En el caso de radiaciones como la luz y las ondas de radio, que son ambas oscilaciones electromagnéticas, la frecuencia se mide en ciclos por segundo o en Hertz (Hz): 1 Hz = un ciclo por segundo.

Fuga (velocidad de). Es la mínima velocidad con la que debe animarse a un cuerpo, por ejemplo un misil, para alejarse de la superficie de un planeta o de cualquier otro cuerpo celeste. Depende, obviamente, de la fuerza de gravedad que el cuerpo celeste ejerce sobre su superficie. Para la Tierra, por ejemplo, la velocidad de fuga es de 11,2 km/s. Si un misil imprime a un satélite la velocidad de fuga de la Tierra, el satélite se iría siguiendo una órbita parabólica. En cambio, si se quiere que el satélite permanezca girando alrededor de la Tierra, la velocidad que se le imprima debe ser inferior a la de fuga. La tabla señala, con fines comparativos, las velocidades de fuga necesarias para alejarse de los otros cuerpos del sistema solar poniendo, como elemento de comparación, la fuerza de gravedad ejercida por la Tierra igual a 1.

Fusión. Es el proceso nuclear que mantiene encendidas a todas las estrellas comprendido nuestro Sol. A las altas temperaturas y presiones que se determinan en estos astros, los núcleos de los elementos livianos tienden a fundirse dando lugar a núcleos de elementos más pesados y liberando grandes cantidades de energía. El hombre, desde hace algunos años se está tratando de realizar en la Tierra el proceso nuclear de fusión con el fin de obtener energía limpia y a costos limitados. Por este motivo están en avanzada fase de experimentación las máquinas especiales en las cuales se puede realizar la denominada "fusión nuclear controlada". En la práctica se lleva a elevadísimas temperaturas, del orden de 50-100 millones de grados, una mezcla de gas llamada plasma, formada por deuterio y tricio, dos isótopos del hidrógeno. El hidrógeno, que es el átomo más simple, está formado por un núcleo con un solo protón (positivo) y por un electrón (negativo) que gira a su alrededor; el deuterio tiene un núcleo con un protón y un neutrón (neutro) y un electrón que gira a su alrededor; el tricio tiene un núcleo con un protón y dos neutrones y un electrón que gira alrededor. Cuando el plasma es sometido a altísimas temperaturas, los núcleos del deuterio y del tricio se despojan de sus electrones y se unen entre sí formando un núcleo de helio (constituido por dos protones y dos neutrones) y liberando a un neutrón. Esta última partícula, frenada con los métodos adecuados, cede su energía bajo forma de calor. El calor es empleado para calentar el agua, y esta última para poner en movimiento una turbina que genera energía eléctrica. Los científicos han resuelto el problema de la sujeción de un plasma incandescente realizando rosquillas magnéticas en las que la mezcla gaseosa a altísimas temperaturas es mantenida en suspensión, sin contacto con partes metálicas que, por otra parte, se fundirían. Máquinas de este tipo son llamadas tokamak, una palabra rusa que quiere decir "máquina magnética". De todos modos, cuando el primer reactor a fusión nuclear haya entrado en funcionamiento, la civilización humana se verá libre para siempre de los problemas energéticos, porque el deuterio y el tricio, al contrario de los combustibles fósiles o del uranio (que alimenta el proceso de fisión nuclear), son fáciles de encontrar en la Tierra.

G

GAGARIN, Juri Aleksejevic. 1934-1968 Fue el primer astronauta de la historia, el primer hombre que realizó un vuelo espacial alrededor de la Tierra. Su misión, no anunciada previamente como la mayoría de las empresas espaciales soviéticas, se llevó a cabo el 12 de abril de 1961. GAGARIN es lanzado a las 9,07, hora de Moscú, desde el cosmódromo de Baikonur en el interior de la astronave Vostok 1, con un peso de 4,7 t. Entró normalmente en órbita, realizando alrededor de la Tierra una vuelta y alcanzando una distancia máxima de 344 km (apogeo) y mínima de 190 km (perigeo). Fue el primer hombre en experimentar el estado de imponderabilidad y de efectuar observaciones de nuestro planeta desde el espacio exterior. Después de 78 minutos de vuelo encendió los retro-cohetes, que frenaron el curso de la Vostok y la llevaron a su trayectoria de regreso. Los soviéticos sostuvieron que el astronauta permaneció en el interior de la cápsula, que descendió suavemente por medio de paracaídas sobre tierra firme; sin embargo, fuentes americanas, en cambio dijeron que el astronauta fue catapultado a 7.000 metros de altura y descendió con su propio paracaídas. El aterrizaje se produjo a las 10,55. La empresa de GAGARIN fue fundamental, porque demostró que el hombre puede resistir a los tremendos apremios de la partida y de la entrada en el ámbito hostil del espacio extraterrestre. GAGARIN murió prematuramente cuando sólo contaba 34 años de edad: el hombre que había superado las incógnitas del primer viaje espacial. se estrelló, durante un vuelo normal de adiestramiento con un avión el 27 de marzo de 1968. En la Unión Soviética se le ha dedicado a Juri GAGARIN el centro de adiestramiento donde se preparan los cosmonautas preseleccionados para las diversas misiones espaciales.

Galaxia. La galaxia por excelencia es el sistema de estrellas del que forma parte nuestro Sol; está descrita detalladamente en la voz Via Láctea. Las galaxias en general son sistemas de miles de millones de estrellas mantenidas juntas por la fuerza de atracción gravitacional. Vistos desde la Tierra, estos sistemas aparecen como minúsculas nebulosidades de forma esférica o elíptica, o bien como girándulas o nubes irregulares. Hasta el siglo XIX no estaban claras ni sus estructuras ni su situación con respecto a nuestra Galaxia. Sólo a principios del siglo XX se pudo determinar con certeza que esas tenues y pequeñas nubes son sistemas de estrellas completamente similares a nuestra Galaxia, pero mucho más lejanos, y se pudieron medir con diversos métodos sus distancias y su distribución en el espacio. De todas las galaxias exteriores (o nebulosas extragalácticas, como también se llaman) sólo tres son visibles a simple vista: se trata de la famosa nebulosa de Andrómeda, situada en la homónima constelación, catalogada con el número M 31 en el catálogo Messier; de la Pequeña y Gran Nube de Magallanes. Estas dos últimas son bien visibles sólo en el hemisferio Sur, desde latitudes mayores de 200 y se llaman así porque fueron por primera vez descritas por el navegante portugués Fernando de Magallanes. Clasificación. Siguiendo un esquema establecido por E. HUBBLE (1889-1953), las galaxias exteriores se clasifican en tres tipos principales

según su aspecto: 1) Nebulosas "elípticas". Representan alrededor del 18 % de todas las observadas. Consisten en grupos de estrellas viejas (llamadas de la Población II) sin apreciables cantidades de materia interestelar. A este tipo de galaxias se atribuye una sigla que describe su forma, constituida por la letra E (abreviatura de elíptica), seguida de un número de 0 a 7. E 0 es una nebulosa casi esférica y E 7 una nebulosa elíptica muy aplanada. 2) Nebulosas en espiral. Representan el grupo más consistente. con alrededor del 78 % de todas las galaxias observables. Estas presentan, en general, un núcleo central luminoso y un gran halo esférico compuesto de estrellas viejas (Población II). Las estrellas jóvenes (Población I) están presentes, reunidas por lo general en un disco que rodea al núcleo y en el que se encuentran también gases y polvos interestelares. Al contrario de lo que sucede en las nebulosas elípticas, las estrellas forman aquí una característica estructura en espiral, de donde surgió el nombre dado a estas galaxias. Sus dimensiones medias son de 100.000 años luz de diámetro y 2.000 años luz de espesor. Los brazos de la espiral, habitualmente dos, salen del núcleo y se envuelven a su alrededor como una girándula. Algunas galaxias, en vez de tener un núcleo perfectamente circular, presentan una estructura en forma de barra; son denominadas de espirales barradas. También las galaxias de este grupo se indican con la sigla que sirve para describir su aspecto aparente. Las espirales simples se indican con S; las espirales barradas con SB. A las letras mayúsculas les siguen las minúsculas a, b, o c, según que el núcleo sea muy pronunciado, medianamente marcado o muy poco evidente. Nuestra Galaxia pertenece a este tipo de sistemas, estando caracterizada por un núcleo central, dos brazos que se envuelven en espiral, un disco galáctico (correspondiente, de manera aproximada, al plan ecuatorial de la estructura en espiral) formado por estrellas jóvenes mezcladas en gas y polvo, y un gran halo esférico con estrellas viejas. 3) Nebulosas irregulares. Se definen con este término a pequeñas galaxias que no presentan ni una forma particular ni una simetría. Contienen estrellas tanto jóvenes como viejas y se piensa sean los restos de galaxias elípticas o espirales deshechas por una singular catástrofe. Desde un punto de vista estadístico, las galaxias irregulares corresponden apenas al 4 % de todas las observadas. A caballo entre las galaxias espirales y las elípticas, pueden situarse las llamadas galaxias de Seyfert, cuyos núcleos son tan brillantes, no sólo a la luz visible, sino también en el dominio de las ondas de radio y de los infrarrojos, como para hacer pensar que allí se están llevando a cabo grandes explosiones. Formación. Desde el punto de vista genético se considera que las galaxias son el resultado del colapso gravitacional de una gran nube de hidrógeno. Mientras los gases precipitan alrededor de miles de millones de puntos de condensación. se forman otras tantas estrellas (y probablemente junto a ellas los planetas), y la galaxia comienza a tomar forma como si proceso determinaría también la estructura y. por lo tanto, la forma aparente de las galaxias. En una época se pensaba en un proceso evolutivo según el cual las galaxias de elípticas se convertían en irregulares. Más recientemente se prefiere a ésta la

hipótesis señalada poco antes: la estructura de la galaxia estaría determinada desde el comienzo de los procesos formativos. Distribución. También las galaxias se agrupan en sistemas. Nuestra Galaxia forma parte de un Grupo local formado por una treintena de galaxias, todas bastante próximas, astronómicamente hablando, comprendidas dentro de un radio de tres millones de años luz. Sin embargo, también hay grupos de galaxias muy numerosos y distantes, como el de Virgo, formado por 2.500 miembros a unos 36 millones de AL, o el del Boyero, formado por 150 galaxias a más de 1,2 mil millones de AL. El estudio de la distribución y de la velocidad de alejamiento de las galaxias, medida a través del efecto Doppler, ha sido de fundamental importancia para el desarrollo de la cosmología moderna, por cuanto ha permitido formular la bien conocida hipótesis del Universo en expansión (→*Big-Bang*) y establecer la presunta edad del Universo. Con un pequeño telescopio resulta imposible determinar una galaxia, aunque esté muy próxima, en cada una de las estrellas que la componen, pero con instrumentos más grandes puede hacerse. En general, con los instrumentos terrestres más potentes de los que se dispone actualmente. Las galaxias pueden analizarse en cada uno de sus componentes hasta una distancia de 60 millones de AL. La determinación de la distancia de una galaxia se hace a través de diversos métodos: los que se basan en la comparación entre magnitud aparente y magnitud absoluta (→*Módulo de distancia*); los que se basan en el estudio de las Cefeidas, de las Variables, de la Nova y de la Supernova, y naturalmente, dado que existe una relación entre distancia y velocidad radial de los objetos estelares, también a través de la medida de esta última magnitud determinada por medio del efecto Doppler. El efecto Doppler sirve también para establecer la velocidad de rotación de una galaxia y para deducir, por lo tanto, una característica fundamental como la masa. Por último, para quien quisiera identificar en el cielo las galaxias más fácilmente visibles con un pequeño instrumento de aficionado, he aquí una lista donde se hallan las coordenadas astronómicas y una breve descripción de algunos sistemas estelares.

GALILEI, Galileo. 1564-1642. Matemático, físico y astrónomo italiano, nacido en Pisa, realizó estudios primero en Florencia y después en su ciudad natal. Abandonados los estudios de medicina que había iniciado en un primer momento, se dedicó a investigaciones personales en el campo de la física y de las matemáticas, convirtiéndose en 1589 en profesor de matemáticas de la Universidad de Pisa. Aquí, entre otras cosas, demostró experimentalmente que la caída de dos cuerpos de forma y volumen iguales pero de diferente peso, dejados caer desde la misma altura, se produce en tiempos iguales. Otros importantes descubrimientos de GALILEO en aquellos años son las leyes del movimiento pendular (sobre el cual habría comenzado a pensar, según la conocida anécdota, observando una lámpara que oscilaba en la catedral de Pisa) y las leyes del movimiento acelerado, que estableció después de trasladarse a enseñar en la Universidad de Padua en 1592. En Padua, sin embargo, y después en Florencia, GALILEO se ocupa sobre todo en astronomía y lo hará intensamente hasta 1633 año de la condena eclesiástica; después de ese penoso suceso se retirará a su domicilio obligado en Arcetri, cerca de Florencia (donde morirá nueve años después) y reiniciará sus investigaciones en este campo en la obra titulada *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti la meccanica* (Tratados y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias relativas a la mecánica), escrita con la ayuda de su discípulo TORRICELLI. En astronomía el nombre de GALILEO

permanece indisolublemente unido al de COPÉRNICO. Este, en 1543, en su obra *De revolutionibus orbium coelestium*, había afirmado que el Sol, y no la Tierra, se encuentra en el centro del Universo y que la Tierra se mueve alrededor del Sol como todos los otros planetas. Profundamente convencido de la exactitud de este modelo, GALILEO siguió adelante hasta que entabló una difícil batalla en favor de esta afirmación verdaderamente revolucionaria, que destruía el sistema geocéntrico de TOLOMEO, acogido y tenazmente sostenido por la ciencia oficial y sobre todo por la Iglesia. La obra en la que, con un tono que quiere ser imparcial, sostiene más orgánicamente el modelo copernicano es el célebre *Diálogo* sobre los máximos sistemas del mundo, obra maestra de GALILEO. Fue este trabajo, publicado en Florencia en 1632, el que le ocasionaría la condena de la Iglesia y la prohibición de dedicarse a la astronomía. Sin embargo, la controversia con las autoridades eclesiásticas se había manifestado muchos años antes: cuando, primero con el *Sidereus nuncius* y después con otras obras, GALILEO, gracias a los descubrimientos que estaba realizando, había comenzado a destruir la concepción geocéntrica del Universo. Conviene recordar que la primera amonestación que GALILEO recibió del Santo Oficio data del año 1616. En 1609, después de haber oído hablar de los instrumentos de ampliación que se fabricaban en Holanda construyó el primer antejo, constituido por un objetivo convexo acoplado a un ocular cóncavo, un instrumento capaz de ampliar objetos unas quince veces. Con él, la noche del 7 de enero de 1610, GALILEO descubrió los cuatro mayores satélites de Júpiter, bautizados por él "planetas mediceos" en honor de la ilustre familia florentina que lo protegía. Júpiter y sus lunas le parecieron como un sistema solar en miniatura y el movimiento de los satélites alrededor de su planeta, que también se movía, le proporcionó la prueba de que existía para un planeta la posibilidad de moverse llevando consigo a sus satélites; por lo tanto, la Tierra podría hacer lo mismo con la Luna (según los tolemaicos no era posible que la Tierra se moviera alrededor del Sol porque de lo contrario dejaría la Luna atrás). A ese primer descubrimiento siguieron muchos otros: vio las montañas lunares, las manchas solares, las estrellas que constituían la Vía Láctea y, sobre todo, pudo observar las fases de Venus previstas por el sistema copernicano y negadas por sus opositores. Las observaciones de GALILEO revolucionaron la astronomía, induciendo a un notable número de sus seguidores a procurarse un antejo (muchos de ellos los construía y regalaba el propio GALILEO) para verificar personalmente sus comprobaciones. Naturalmente, además de las verificaciones también nacieron de tal fervor de observaciones numerosos descubrimientos. Por lo tanto, GALILEO puede considerarse, con todo derecho, como el fundador de la astronomía moderna y más en general el introductor del método experimental en la investigación científica. El comprendió la diferencia que existe entre una observación pasiva de los fenómenos naturales, que fácilmente puede conducir a conclusiones erróneas, y un experimento construido sobre precisas premisas, con la finalidad de confirmar o rechazar una determinada tesis, realizado en circunstancias bien definidas y reproducibles por otros investigadores. Además de sus extraordinarios resultados como físico y astrónomo, la importancia de GALILEO está precisamente en haber creado una mentalidad científica nueva, cuyas bases son aún las nuestras.

Galileo (misión). Es el nombre de una sonda automática que será enviada en la primavera de 1986 hacia Júpiter y que, por primera vez, soltará una pequeña sonda destinada a descender en la atmósfera del mayor planeta. La misión se

establece tres objetivos principales: la determinación de la composición química y estado físico de la atmósfera jupiteriana; la determinación de la composición química y estado físico de los satélites de Júpiter; el estudio de la estructura y de las características del campo magnético (o magnetosfera) que rodea a Júpiter. Para satisfacer todas estas interrogantes, a las que anteriores misiones, Pioneer y Voyager, sólo han dado respuestas parciales, la NASA pensó, en 1975, proyectar una sonda interplanetaria compuesta de dos partes: un orbiter que deberá aproximarse a los cuatro principales satélites de Júpiter -Io, Europa, Ganímedes y Calisto (los descubiertos por GALILEO en 1610)- y una "probe" (sonda), que deberá introducirse dentro de la órbita jupiteriana. La instalación de la sonda Galileo en órbita terrestre se realizará gracias a la nave espacial. Desde la órbita la sonda será empujada hacia Júpiter por una sección superior del misil Centauro. El viaje hasta la órbita de Júpiter tendrá una duración de 18 meses, al cabo de los cuales, cuando Galileo se encuentre a cerca de 150 millones de kilómetros de Júpiter, orbiten y probe, que habían realizado el viaje juntos, se separarán. Cinco meses más tarde se iniciará la parte culminante de la misión. El orbiter realizará una sucesión de encuentros de aproximación con los cuatro satélites mayores, a partir de lo, que surgirá pasándole a unos 1.000 km de distancia (veinte veces más cerca de lo que le pasó el Voyager 1 en enero de 1979). Al mismo tiempo, el probe iniciará su vertiginoso descenso hacia las nubes de amoníaco e hidrógeno sulfurado que caracterizan la atmósfera jupiteriana. Cuando llegue a las capas superiores de esta atmósfera la sonda viajará a una velocidad de 173.000 km/h. A causa de la fricción con la atmósfera jupiteriana se producirá una fuerte desaceleración, hasta aproximadamente 400 g: lo que quiere decir que si fuera un hombre dentro de la sonda, sería aplastado por una fuerza 400 veces mayor que la ejercida por la gravedad terrestre. El escudo térmico de la sonda se pondrá incandescente hasta unos 3.500 °C. No bien la desaceleración haya frenado la caída de la sonda, se abrirá un paracaídas y comenzarán los análisis químicos y físicos de la atmósfera. Todo el descenso de la probe durará unos 60 minutos y se debería concluir a una altura en la que la presión atmosférica alcanza valores de aproximadamente 10 bar, es decir, 10 veces mayor que la presión que se mide en la Tierra a nivel del mar. Los datos no serán transmitidos directamente por la probe a las estaciones de escucha terrestres, sino al orbiter, cuyas potentes antenas reenviarán las preciosas señales hacia nuestro planeta. El orbiter, a su vez, después del encuentro ultraaproximado con lo, comenzará una compleja danza alrededor de los cuatro satélites mayores, encontrándose con ellos repetidamente y captando imágenes bajo diferentes perspectivas. Gracias a esta misión, a finales del decenio de los ochenta, se tendrán excepcionales revelaciones sobre Júpiter y su sistema.

Galle, Johann Gottfried. 1812-1910 Astrónomo alemán que se hizo famoso por el descubrimiento de Neptuno, el octavo planeta del sistema solar en orden de distancia a partir del Sol. El descubrimiento de Neptuno muestra la importancia de la mecánica celeste en el desarrollo de la astronomía del siglo XIX. En 1846 el matemático francés Urbain LEVERRIER (1811-1877), por el estudio de las perturbaciones gravitacionales determinadas sobre Urano, había deducido la presencia de un octavo planeta y, calculadas sus coordenadas, las había enviado a J. G. GALLE con el requerimiento de efectuar la investigación a través del telescopio del observatorio de Berlín, donde GALLE trabajaba. El astrónomo alemán procedió de inmediato a la búsqueda

del planeta con la ayuda de su colega Louis d'Arrest (1822-1875) y en una sola noche, siguiendo las indicaciones de LEVERRIER, descubrió aquel lejano mundo al que, más tarde, se le dio el nombre de Neptuno. GALLE, que en su juventud había estudiado bajo la supervisión de Johan ENCKE (1791-1865), también descubrió cometas y asteroides.

Gamma (rayos). Son radiaciones electromagnéticas de frecuencia más alta que los rayos X, emitidas en el curso de fenómenos tales como explosiones estelares o colisiones entre cuerpos celestes. Los flujos de rayos γ que atraviesan el espacio interplanetario no llegan hasta el suelo de nuestro planeta, porque son absorbidos por la atmósfera terrestre. Su presencia en el espacio extraterrestre fue descubierta gracias a los instrumentos colocados sobre satélites artificiales en los años 60. Desde entonces ha nacido la astronomía de los rayos γ , que estudia algunos tipos de fenómenos celestes responsables de estas emisiones.

Gamow, George. 1904 Astrofísico ruso, nacido en 1904, establecido en los Estados Unidos, famoso por haber propuesto a comienzos de los años 20 la teoría cosmológica que se hizo famosa con el nombre de Big-Bang. Más tarde Gamow predijo también la existencia de una radiación de fondo a 3 K que representa la ceniza, todavía determinable, de la gran explosión primordial y que efectivamente fue descubierta en 1965 por los físicos americanos Arno PENZIAS (nacido en 1933) y Robert W. WILSON (nacido en 1936).

Ganímedes. Es el satélite más grande de Júpiter y probablemente el más grande de todo el sistema solar. Tiene un diámetro de 5.276 km (el diámetro de nuestra Luna es de 3.476 km), una masa de aproximadamente el doble de la lunar y una densidad de 1,9. Está en órbita a una distancia de poco más de un millón de km de Júpiter. Según los estudiosos americanos, que lo han analizado de cerca gracias a las misiones de los dos Voyager, Ganímedes sería una inmensa bola de fango recubierta por un espeso estrato de hielo.

GASSENDI, Pierre. (1592-1655) Matemático y astrónomo francés, fue de los primeros en luchar en su país contra la cultura aristotélica y en pro de la afirmación del método científico galileano. Fue un devoto admirador y seguidor de GALILEO, de quien obtuvo como obsequio un telescopio construido por él mismo. Siguiendo las indicaciones de KEPLER, el 7 de noviembre de 1631 GASSENDI pudo observar el paso de Mercurio a través del disco solar. Fue la primera vez que un fenómeno de ese tipo, hoy visible con un modesto instrumento, pudo ser previsto y observado. Una observación astronómica de ese tipo tenía, en aquellos tiempos, importantes consecuencias cosmológicas porque servía para apoyar la teoría heliocéntrica, según la cual el Sol está en el centro del sistema solar y los planetas giran a su alrededor.

Gauss, Karl Friedrich. 1777-1855 Matemático y astrónomo alemán, contribuyó ampliamente a los estudios de mecánica celeste que, en su época, estaban apenas en los comienzos después de la enunciación de las leyes keplerianas y, sucesivamente, de la teoría de la gravitación universal de Isaac NEWTON. GAUSS pudo demostrar el poder del cálculo analítico en las previsiones de las órbitas planetarias cuando, en 1801, el astrónomo Giuseppe PIAZZI, director del Observa-

torio astronómico de Palermo, descubrió Ceres, el primero de los asteroides, pero perdiéndolo de vista inmediatamente después. Basándose en las observaciones de PIAZZI, GAUSS pudo calcular las efemérides de este pequeño planeta aplicando un nuevo método de determinación de las órbitas ideado por él mismo. Gracias a estas efemérides, algunos meses después, otro astrónomo, F. S. Zach, volvió a encontrar en el cielo el débil objeto celeste.

Gegenschein. Es una palabra alemana que sirve para indicar un débil resplandor visible en el cielo nocturno en la parte opuesta a aquella en que se encuentra el Sol y a lo largo de la línea de la eclíptica. De manera análoga a la luz Zodiacal, se considera que este fenómeno se debe a la difusión de la luz solar por parte de granos de polvo que tienden a hacerse más densos en el plano de la órbita terrestre. El gegenschein fue observado por primera vez y así denominado por el astrónomo danés Theodor Brorsen en el año 1854.

Geminidas. Es una de las lluvias anuales de Meteoros más importantes, que se puede observar a principios de diciembre. Toma este nombre porque, por un efecto de perspectiva, las trazas luminosas dejadas por los meteoros parecen surgir de la constelación de Géminis. En algunos años favorables, es posible observar varias decenas de meteoros por hora. El fenómeno se debe a que la Tierra, cada año, en su trayectoria alrededor del Sol se cruza con una nube de minúsculas partículas cósmicas que, penetrando en la atmósfera, se quemán produciendo una estrella fugaz.

Géminis (proyecto). Famoso programa espacial americano desarrollado a mediados de los años 60 por la NASA con la finalidad de experimentar una astronave biplaza para vuelos de larga duración en el espacio, practicar las técnicas de Rendez-vous y de Docking entre dos vehículos espaciales y realizar actividad extra-vehicular: todo con el fin de allanar el camino al programa Apolo para la exploración de la Luna y ganar a los soviéticos la supremacía de la exploración humana en el espacio. En el ámbito de este programa se realizaron 12 vuelos con la astronave Géminis, los primeros de los cuales no llevaban hombres a bordo. El proyecto Géminis nace oficialmente en 1961, mientras se desarrollaban todavía los primeros vuelos del proyecto Mercury. En tres años fue puesta a punto la astronave constituida por tres partes esenciales: 1) el módulo de retorno conteniendo la cabina para dos astronautas, de forma cónica con una base de 2,3 m de diámetro y una altura de 1,8 m; 2) el módulo de adaptación puesto en la base del de retorno, con retro cohetes, los generadores de electricidad y los cohetes para el control de vuelo; 3) una sección de rendez-vous, constituida por un cilindro colocado en la cima del módulo de retorno que contenía un radar para la aproximación a otra nave, así como mecanismos para el acoplamiento rígido con otro vehículo. En su configuración completa, la astronave Géminis pesaba 3.600 kg. El acceso a la cabina se realizaba a través de dos portezuelas ambas situadas por encima de los dos asientos de los astronautas. El lanzamiento se hacía con los misiles Titán II. El programa cumplió plenamente sus objetivos y, aparte de algún hecho demasiado teatral, fue coronado por el éxito. Los dos primeros astronautas americanos en volar a bordo de la Géminis fueron Virgil I GRISSOM y John W. YOUNG, que efectuaron tres órbitas alrededor de la Tierra, el 23 de marzo de 1965. La misión siguiente se caracterizó por la primera salida de un americano, Edward H. White, al espacio, fuera de la cabina. Un importante primado logrado por el programa Géminis fue, en marzo de 1966, el primer amarre entre una astronave y

otro vehículo: una de las secciones del misil Agena. Sin embargo, inmediatamente después se vivieron momentos dramáticos: la Géminis 8, llevando a bordo a Neil ARMSTRONG y David Scotte, después de haberse amarrado al Agena, empezó a girar vertiginosamente sobre sí misma corriendo el riesgo de destruirse en órbita. Afortunadamente, los dos hombres lograron separar ambos vehículos y retomar el control de la astronave que fue llevada precipitadamente a Tierra. La maniobra de docking, después del segundo fracaso registrado por la Géminis 9, se logró perfectamente con la Géminis 10, en julio de 1966. Todo el programa se concluyó felizmente en el mes de noviembre del mismo año con el vuelo de la Géminis 12. La tabla indica todos los datos esenciales relativos a las doce misiones del programa Géminis.

Geocéntrico. Literalmente significa con la Tierra en el centro. En el caso de un sistema de coordenadas quiere decir que éstas tienen el origen en el centro de la Tierra. El vocablo también tiene un significado histórico, porque como sistema geocéntrico se entiende ese sistema del mundo que sobrevivió hasta los tiempos de COPÉRNICO, según el cual la Tierra estaba inmóvil en el centro del Universo y todos los otros cuerpos celestes giraban a su alrededor.

Geoestacionario. Se dice que un satélite es geoestacionario, o bien que recorre una órbita geoestacionaria, cuando permanece inmóvil sobre un determinado punto de nuestro globo. Para obtener este efecto son necesarias dos condiciones: que la órbita del satélite se encuentre sobre el plano del Ecuador terrestre, y que el periodo orbital sea sincrónico con la rotación de la Tierra. En otros términos, que el satélite realice una vuelta alrededor de nuestro planeta al mismo tiempo que éste efectúa una rotación completa alrededor de su propio eje. Una órbita realizada de esta manera tiene una altitud con respecto al suelo de 35.900 km. Las órbitas geoestacionarias son muy útiles para los satélites de telecomunicaciones. Permaneciendo suspendido y quieto entre dos continentes, un satélite puede actuar de puente radio para comunicaciones telefónicas, para transmisiones dadas o para la difusión mundial de señales de televisión. Son suficientes tres satélites geoestacionarios, colocados a una distancia de 120° el uno del otro, para cubrir todo el globo y asegurar un sistema de comunicaciones mundial. El primer satélite geoestacionario fue el americano conocido con la sigla Syncom 3, y se lanzó en agosto de 1964. En realidad, a causa de las influencias gravitacionales de la Luna y del Sol, el satélite no se queda exactamente fijo en un punto geográfico sobre la Tierra, sino que tiende a desplazarse. Para volver a la posición deseada, el satélite está provisto de pequeños motores a chorro que le hacen realizar las maniobras de corrección de posición a través de la orden enviada desde la Tierra. La idea de los satélites geoestacionarios fue formulada por primera vez en la British Interplanetary Society (Sociedad Interplanetaria Inglesa) por el escritor y divulgador científico Arthur C. Clarke en el año 1945.

Gigante (estrella). Se dice gigante a una estrella muy luminosa, caracterizada por una masa que puede ser centenares de veces mayor que la del Sol. Hay estrellas gigantes azules, como la joven Spica que podemos admirar en la constelación de Virgo y que es aproximadamente ocho veces más grande que el Sol, y gigantes rojas, viejas como Betelgeuse en la constelación de Orión que es tan grande como para albergar la íntegra órbita de Marte. Su diámetro es unas 400 veces el del Sol. Estas estrellas se llaman gigantes en oposición a otras, muy pequeñas con respecto al

Sol, llamadas Enanas. El Sol, como se ha dicho en otras ocasiones, es una estrella de dimensiones medianas con respecto a la generalidad de los casos.

Glenn, John H. 1921 Primer americano que estuvo en órbita alrededor de la Tierra. Fue el 20 de febrero de 1962, unos diez meses después de la empresa de Yuri GAGARIN. La cápsula que lo llevó al espacio se llamaba Friendship 7 y era la tercera en ser lanzada al espacio en el ámbito del programa Mercury. La habían precedido la Freedom 7, llevando a bordo a Alan SHEPARD el 5 de mayo de 1961 y la Liberty Bell 7, llevando a bordo a Virgil GRISSOM el 29 de julio de 1961; sin embargo, estos dos astronautas habían realizado sólo un vuelo suborbital (una parábola con el vértice en el espacio) y no una órbita completa alrededor de la Tierra. Por estos motivos el vuelo de John Glenn fue considerado como el verdadero primer paso hacia la exploración humana del espacio realizada por los Estados Unidos y allanó el camino a las otras misiones del programa Mercury y las del sucesivo programa Géminis. Glenn dio tres vueltas alrededor de la Tierra alcanzando una distancia máxima de la superficie de nuestro planeta de 262 km y una mínima de 161 km. Su vuelo duró en total 4 horas y 55 minutos y se concluyó con una zambullida en el océano, donde la flota americana a la espera, recuperó la nave. Durante el vuelo se produjeron situaciones de emergencia que hicieron temer por el buen resultado de la misión: primero se bloqueó uno de los cohetes para el control de la trayectoria de la astronave, obligando a Glenn a hacerse cargo de los controles manualmente; después, un indicador luminoso señaló que el escudo térmico del Mercury había sido expulsado anticipadamente. Si este último hecho se hubiera producido realmente, hubiera sido el fin para el astronauta ya que la cabina se habría incendiado al retornar a la atmósfera por las altas temperaturas de fricción. Por fortuna, se determinó rápidamente que se trataba de una falsa alarma causada por un mal contacto y la maniobra de regreso pudo realizarse normalmente. Indudablemente, la tecnología de la Mercury era aún muy rudimentaria y no tenía ese grado de fiabilidad que se alcanzó algunos años después por los Estados Unidos con las astronaves del programa Apolo. Dos años después de su empresa, John Glenn, que había entrado en el cuerpo de astronautas en 1959 dejó los programas espaciales y se dedicó con éxito a la vida política. En 1974 fue elegido senador por el estado de Ohio dentro del partido demócrata.

Glóbulos de Bok. Concentraciones de polvos con forma circular o elíptica que se destacan como zonas oscuras sobre el fondo de estrellas o de una nebulosa. Según las hipótesis más acreditadas, estas formaciones, que poseen una masa de hasta centenares de veces la de nuestro Sol, son nubes de polvos en fase de colapso antes de la formación de nuevas estrellas. Toman el nombre del astrónomo alemán (después ciudadano americano) Bart Jan Bok, nacido en 1906, que los estudió por primera vez hacia finales de los años 40. Hasta ahora se han individualizado poco más de un centenar de estos glóbulos y son estudiados atentamente con la esperanza de confirmar la hipótesis antes dicha y documentar los hechos que preceden al nacimiento de un sistema estelar.

GODDARD. 1882-1945 Pionero de la misilística americana, estudioso teórico y experimental, a GODDARD se debe la invención y construcción del primer cohete a combustible líquido de la historia. Graduado en física en 1911 en la Clark University de Worcester (Massachusetts), GODDARD realizó aquí una larga carrera universitaria y enseñó hasta

su muerte. Desde los años de escuela superior se sintió atraído por los estudios de la propulsión a chorro y en 1914 registró la primera patente de un misil multi-sección. Pocos años después, en 1919, publicó su tratadom A Method of Reaching Extreme Altitudes (Un método para alcanzar alturas extremas), donde teorizaba sobre la necesidad de desarrollar la propulsión a chorro para viajar más allá de la atmósfera y adelantaba la idea de realizar, con el mismo método, un viaje TierraLuna. Este trabajo, publicado por cuenta de la Smithsonian Institution, le valió un pequeño premio. En los años siguientes GODDARD inició el ensayo de misiles, primero con combustible sólido y luego con combustible líquido. Intuyó súbitamente que este último era el camino a seguir para elaborar una tecnología eficiente y adecuada para el desarrollo de los futuros vuelos espaciales. A igualdad de peso, el combustible líquido da un impulso total (el producto del empuje por el tiempo durante el cual se aplica éste) mayor que el combustible sólido. Y así GODDARD pensó en conservar en dos depósitos separados oxígeno líquido y gasolina y mezclarlos en la cámara de combustión del motor a chorro. Con esta técnica, el 16 de marzo de 1926, en una llanura cerca de Auburn, Massachusetts, hizo volar el primer misil a combustible líquido de la historia, el cual, a decir verdad, no tenía nada de los modernos husos aerodinámicos, estando constituido por una red de tubos unidos a la cámara de combustión. El artefacto voló durante dos segundos y medio, alcanzando una altura de 12 m. Este primer experimento le valió una contribución de la Smithsonian Institution, gracias a la cual GODDARD pudo dedicarse al problema de la estabilización en vuelo del misil. En 1929, el aviador Charles A. Lindbergh, que había realizado hacía poco la histórica travesía New York-París, atraído por los estudios de GODDARD fue a buscarle y le procuró otra contribución de la fundación Guggenheim. Gracias a estas ayudas GODDARD se mudó a un rancho en New México, cerca de la ciudad de Roswell, donde pudo instalar una verdadera base de lanzamiento. Aquí, con la ayuda de un grupo de colaboradores, puso a punto el sistema giroscópico de estabilización de los misiles en vuelo y las bombas para forzar los líquidos hacia la cámara de combustión. Sus misiles, aunque de pequeñas dimensiones, algunos metros de altura y unos centenares de Kg de peso, eran una reproducción en escala reducida de los modernos lanzadores. En 1935 uno de ellos superó los 2.000 m de altura, alcanzando casi velocidades supersónicas (880 km/h). En 1936, GODDARD pudo recoger en el tratado Liquid Propellant Rocket Development (El desarrollo del misil de combustible líquido) los principales resultados de su actividad. Sin embargo, el gobierno americano, a pesar de los éxitos y las más de 200 patentes obtenidas poco a poco por GODDARD, nunca tomó en serio la actividad de este pionero solitario, si se exceptúa la adquisición de una de sus invenciones de donde surgió el bazooka. Así, mientras los alemanes ya ponían a Werner VON BRAUN a la cabeza del polígono de Peenemunde y comenzaban a desarrollar los motores a chorro de donde nacerían las mortíferas V 2, GODDARD, ya sexagenario, se disponía a concluir su actividad. Murió a los 63 años y sólo después se le reconocieron gloria y honores. La compensación por el uso de sus patentes, sumando un millón de dólares, fue recogido por su esposa en el año 1960.

GODDARD Space Flight (Center). Es el cuartel general de la Space Tracking and Data Acquisition Network, la red mundial que por medio de radiotelescopios y radares sigue las evoluciones de los satélites artificiales, calcula sus órbitas y recopila las previsiones de sus futuras trayectorias. Hoy

parte integrante de la NASA, el GODDARD Space Flight Center, que se halla en Greenbelt en el estado de Maryland, fue fundado en 1959 y dedicado al pionero de la astronáutica americana Robert Hutchings GODDARD. El centro ha teleguiado por cuenta de la NASA a cerca de la mitad de los satélites artificiales puestos en órbita terrestre por los Estados Unidos: Explorer, Landsat, Orbiting Solar Observatory, Orbiting Astronomical Observatory, etc. Ha dirigido también experimentos por cuenta de agencias espaciales extranjeras. Entre finales de los 70 y comienzos de los 80, el GODDARD ha previsto con gran exactitud la caída de algunos satélites que han suscitado gran conmoción entre el público: los Cosmos soviéticos y el Skylab americano.

GOLD, Thomas. 1920 Astrofísico austriaco nacionalizado americano, conocido por haber propuesto hacia finales de los años 40 la teoría cosmológica del Estado estacionario del Universo, junto con Herman BONDI. Ahora ya abandonada, la teoría del estado estacionario sostenía, en síntesis, que el Universo no cambia con el tiempo, mientras las más modernas concepciones, como es sabido, admiten una expansión y una continua evolución del Universo a partir del Big-Bang. Más recientemente GOLD se ha ocupado de los Púlsar, desarrollando un modelo teórico que describe estos objetos como estrellas de neutrones en rápida rotación, unidas a un fuerte campo magnético y emitiendo intensos haces latentes de ondas electromagnéticas como un radiofaro.

Granulación. La fotosfera del Sol no se presenta lisa, sino que muestra una estructura a manera de granos de arroz, denominada granulación. Se trata de un efecto causado por columnas de gases que suben de las capas más inferiores y calientes del Sol hacia la alta atmósfera, tal como lo hacen los movimientos convectivos del agua caliente que hierve en una olla. Cada gránulo tiene dimensiones aparentes de 500-1.500 km y consiste en una estructura en constante movimiento y, por lo tanto, efímera. Los gránulos pueden observarse bien cuando la transparencia del aire es excelente y son más visibles en el centro del Sol que en el borde.

Gravedad. La gravedad es una propiedad fundamental de la materia que produce una recíproca atracción entre los cuerpos. Es una de las fuerzas fundamentales de naturaleza; si bien es la más débil con respecto a las otras fuerzas que tienen la superioridad sobre las partículas elementales de la materia (fuerza nuclear fuerza electro-débil), considerada en escalas cósmicas es la que hace sentir mayormente sus efectos determinando el movimiento de los planetas, de las estrellas, de las galaxias y de toda la materia en el Universo. La teoría prevé que, análogamente a la existencia de las ondas electromagnéticas que se propagan de un lado a otro del Universo, también deben existir ondas gravitacionales, cuya investigación está en curso a través de equipos espaciales, pero aún no ha dado resultados ciertos.

Gravitación universal. Según una leyenda, que probablemente tiene una base de verdad, Isaac NEWTON (1642-1727) estaba sentado en un jardín al pie de un árbol cuando le cayó una manzana encima. El científico que desde ya hacía tiempo trabajaba en la forma de explicar la fuerza de gravedad, estableció entonces la hipótesis de que la fuerza que nos tiene unidos a la Tierra y que disminuye con el alejamiento a partir de su centro, debería hacer sentir su efecto mucho más lejos de lo que en aquellos tiempos pudiera pensarse, probablemente hasta el mundo de la Luna y más

allá. Resumiendo, NEWTON intuyó, gracias a esta reflexión causada por la ocasional caída de la manzana, que el mismo movimiento de la Luna estaba gobernado por la fuerza de atracción terrestre. Esta idea, generalizada, tomó la forma de un principio físico que se puede enunciar en los siguientes términos: dos masas M_1 y M_2 se atraen recíprocamente con una fuerza F directamente proporcional al producto de las propias masas e inversamente proporcional al cuadrado de sus distancias. El estudio de los movimientos de los cuerpos existentes en el Universo ha demostrado que la formulación de NEWTON es válida en todas partes y, por lo tanto, ha tomado el nombre de Ley de la gravitación universal. Gracias a esta ley también ha sido posible demostrar, por vía analítica, lo que KEPLER había establecido de manera empírica: que los planetas recorren órbitas elípticas alrededor del Sol.

Gravitacionales (ondas). La teoría de la relatividad general de EINSTEIN prevé la existencia de ondas gravitacionales, es decir de vibraciones que, análogamente a las ondas electromagnéticas, deberían propagarse en el espacio a la velocidad de la luz. Si bien la existencia de las ondas gravitacionales no ha sido comprobada aún/ los astrofísicos consideran que así como en el pasado, del estudio del cielo surgieron muchas confirmaciones a las teorías einsteinianas, también las ondas gravitacionales, con el tiempo, serán descubiertas. Hoy se piensa que las ondas gravitacionales deben ser de dos tipos: periódicas e impulsivas. Las primeras, muy débiles, se deben a cuerpos de gran masa en movimiento: por ejemplo dos estrellas que giran la una alrededor de la otra, estrellas de neutrones o agujeros negros rotando, etc. Las segundas, más intensas, serían emitidas cuando un cuerpo muy macizo como una estrella es involucrado en un colapso gravitacional: por ejemplo, durante la formación de un agujero negro. Desde un punto de vista físico, las ondas gravitacionales deberían modificar la geometría del espacio en el que propagan y, embistiendo a un cuerpo sólido, deberían producir vibraciones en el propio cuerpo. Sin embargo interactúan muy débilmente con la materia, en el sentido de que la pueden atravesar de lado a lado siendo sólo absorbidas en una mínima parte, resultando por lo tanto de difícil intercepción. Para revelar las ondas gravitacionales, los astrofísicos han inventado aparatos denominados antenas gravitacionales que consisten, habitualmente, en cilindros de aluminio que tienen una masa variable desde algunas decenas de kilos a varias toneladas, conectados a delicadísimos aparatos electrónicos capaces de determinar la más mínima variación. El principio de funcionamiento es el siguiente: si desde alguna parte del Universo llegara una onda gravitacional, la antena debe ponerse a vibrar y los instrumentos de amplificación indicar el fenómeno. Sin embargo, las interferencias causadas sobre antenas por fenómenos sísmicos, electromagnéticos, acústicos, etc., han perturbado hasta ahora el trabajo de los astrofísicos, a pesar de las muchas precauciones tomadas para reducir al mínimo estos llamados ruidos de fondo. En 1969 el astrofísico americano Joseph Weber comunicó haber captado una onda gravitacional; pero, desde ese momento, y aunque las antenas gravitacionales sean construidas en muchos laboratorios, ningún otro estudioso ha captado señales debidas a este tipo de vibraciones.

Green Bank. Conocido también como National Radio Astronom Observatory (NRAO), es el observatorio de radioastronomía más grande de los EEUU y uno de los mayores del mundo. Fundado en 1957 en Green Bank, el West Virginia, posee una gran antena de 91 metros de diámetro y

diversas antenas menores, algunas de las cuales forman Interferómetros. En este centro de radioastronomía se han hecho importantes descubrimientos sobre la presencia de moléculas interestelares en el espacio y estudios relativos tanto a la estructura de nuestra galaxia, como de galaxias externas.

Greenwich (observatorio). Es el observatorio astronómico inglés más famoso. Más que por el alcance de sus instrumentos, debe su fama al hecho de que el meridiano sobre el que se encuentra ha sido elegido como origen de las coordenadas de longitud. Fundado por Carlos II en 1675 en una localidad no lejana de Londres, que se llama precisamente Greenwich, tuvo como primer director al famoso astrónomo John FLAMSTEED. En aquella época el principal trabajo del observatorio consistía en efectuar medidas astronómicas que sirvieran a los navegantes a resolver el problema de la determinación de la longitud en el mar. Más tarde fueron realizadas medidas de tiempo y en 1884 el meridiano que pasa por el observatorio fue elegido, por convención internacional, como el primero del mundo (longitud 0°). Después de FLAMSTEED, el observatorio (proyectado por el gran arquitecto inglés Christopher Wren) tuvo otros célebres directores, entre otros Edmund HALLEY y George Airy. Después de la Segunda Guerra Mundial, a causa de las malas condiciones de visibilidad provocadas por los humos y las luces de la vecina capital, el observatorio, aún conservando su nombre original, fue trasladado a Herstmonceux, en Sussex. El instrumento óptico más importante está constituido por un reflector con un espejo de 2,50 metros de diámetro. El viejo observatorio de Greenwich ha sido ahora transformado en museo.

Greenwich (tiempo medio de). Es el tiempo calculado a partir del meridiano del Observatorio de Greenwich que, por convención, ha sido elegido como meridiano de origen. Se hace referencia también al tiempo medio con la abreviatura G.M.T. (Greenwich Mean Time) o bien U.T. (Universal Time). → *Huso horario*.

Gregoriano (telescopio). Entre los muchos tipos de telescopio reflector, el gregoriano representa el primero, en orden de tiempo, en haber sido realizado. Ideado por el astrónomo James Gregory en 1663, está constituido por un espejo primario cóncavo que refleja la luz hacia otro espejo secundario también cóncavo, el cual a su vez la envía hacia el ocular situado más allá de un orificio practicado en el espejo primario. Se trata de un diseño muy similar al que más tarde se adoptaría en el telescopio Cassegrain, pero con la diferencia de que en este último el espejo secundario es convexo. Para una comparación entre las diversas características de los telescopios, tanto reflectores como refractores, → *Telescopio*.

Gregory, James. 1638-1675 Astrónomo y matemático escocés nacido en Aberdeen. En su obra *Optica* promovida (Londres 1663) propuso construir un telescopio que en lugar de lente tuviera dos espejos cóncavos. Este tipo de diseño que sin embargo él mismo no llevó a cabo por no ser un experimentador, dio lugar sucesivamente a la construcción del primer telescopio reflector, llamado en su honor Gregoriano. En el tema de instrumentos para la observación astronómica, Gregory sugirió también eliminar la Aberración cromática acoplando dos lentes de diversa naturaleza. Esta fue una de las primeras formulaciones teóricas de la llamada lente Acromática, más tarde realizada por J. DOLLOND.

Gregory se dedicó también a la determinación de las distancias estelares, basada en la comparación entre la luminosidad de las estrellas y la del Sol.

GRISSOM, Virgil Ivan. (1926-1967) Infortunado astronauta americano que después de dos vuelos en el espacio, perdió la vida durante un simulacro en tierra. La primera empresa de GRISSOM, llamado familiarmente Gus por los amigos astronautas, consistió en el segundo vuelo suborbital de la serie Mercury. La misión tuvo lugar el 21 de julio de 1961, poco más de dos meses después de una empresa análoga realizada por el americano Alan SHEPARD. El vuelo de GRISSOM duró apenas 15 minutos y 37 segundos durante los cuales la Mercury, impulsada por un misil Atlas, realizó una parábola alcanzando una altura máxima de 190 km para después caer en el Océano Atlántico. Pero apenas la Mercury tocó la superficie del mar, a causa de una avería, la portezuela de seguridad de la astronave se separó de la cápsula (el sistema estaba programado para eventuales salidas de emergencia) y el agua del mar penetró en la cabina haciendo hundirse a la nave. GRISSOM logró tirarse al agua y llegar hasta las escuadras de salvamento después de haber nadado cinco minutos. La astronave se perdió. El segundo vuelo espacial de GRISSOM es el 23 de marzo de 1965, en el ámbito del proyecto Géminis. Se trató del tercer vuelo de la serie Géminis, pero del primero con hombres a bordo. Junto con GRISSOM volaba John YOUNG con el cargo de segundo piloto. La nave entró en órbita entre 162 y 220 km de altura, realizó tres vueltas alrededor de la Tierra durante las cuales fueron efectuadas diversas maniobras; entre otras y, por primera vez, la relativa al paso de una órbita a otra. Esta vez todo funcionó perfectamente. No puede decirse lo mismo del ejercicio en tierra en el cual GRISSOM y otros dos astronautas, Edward H. White y Roger B. Chafee, murieron trágicamente. Los tres hombres debían inaugurar el primer vuelo de prueba de la serie Apolo: el lanzamiento estaba fijado para el 21 de febrero de 1967. El 27 de enero, durante una operación de cuenta atrás simulada mientras los tres astronautas se encontraban a bordo del Apolo, en la cima del misil Saturno V, un cortocircuito hizo saltar las llamas al interior de la cabina. Inútilmente el comandante GRISSOM intentó hacer saltar la portezuela de seguridad para ponerse a salvo con su tripulación. Los pernos explosivos no funcionaron y los tres hombres murieron carbonizados. Fueron las primeras víctimas de una empresa espacial. El programa Apolo se detuvo y sólo después de una minuciosa revisión de los dispositivos de seguridad pudo despegar y tener éxito.

Grupo local. Se define con este nombre un grupo de aproximadamente treinta Galaxias próximas entre sí (astronómicamente hablando) de la cual también forma parte nuestra Galaxia o Vía Láctea, como es llamada con un término de origen latino. La nebulosa más grande y maciza de este grupo es la famosa nebulosa de Andrómeda, que también se indica con las siglas M 31 del catálogo Messier o NGC 224 del New General Catalogue. Su distancia de nosotros es de alrededor de 2,2 millones de AL. En segundo lugar, en lo relativo a las dimensiones de las galaxias pertenecientes al grupo local, está la Vía Láctea, y en el tercero la Galaxia M 33 de la constelación del Triángulo. Estas tres galaxias son del tipo de espiral. En lo que respecta a las otras se trata, por lo general, de galaxias enanas, satélites de las mayores (muy cercanas a nosotros están la Gran y Pequeña Nube de Magallanes). Las galaxias del grupo local que aparecen relacionados gravitacionalmente ocupan una

región cuyo diámetro está calculado en unos tres millones de años luz.

H

H (regiones). Con este nombre se indican esas amplias zonas del espacio que se encuentran entre las estrellas las cuales, en lugar de estar vacías, como se suponía hasta hace una decena de años, están llenas de hidrógeno (símbolo químico H, del cual deriva la letra mayúscula que precede la definición). Estas regiones puede ser de dos tipos. 1) H I: se trata de hidrógeno en forma neutra, frío, a unos $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$. En tales condiciones, el hidrógeno no emite luz visible, pero se puede percibir a través de los radiotelescopios porque sus electrones emiten una radiación en la longitud de onda de 21 cm. Las regiones H resultan notablemente extendidas en el interior de nuestra Galaxia. 2) H II: al contrario de las regiones precedentes, aquí el hidrógeno se encuentra a altísimas temperaturas unos $10.000\text{ }^{\circ}\text{C}$ y en un estado ionizado (los electrones no están más unidos a los protones del núcleo). Responsables de este estado físico son las radiaciones ultravioletas de estrellas próximas. Algunas famosas nebulosas visibles con la ayuda de un simple binocular como por ejemplo la nebulosa de Orión no son otra cosa que regiones H II. Es en el interior de estas nebulosas donde el hidrógeno y los granos de polvo interestelar allí presentes pueden condensarse para dar vida a los glóbulos que, más adelante, se convertirán en verdaderos embriones de estrellas. Las cuatro estrellas que se ven en la nebulosa de Orión, llamadas con el sobrenombre de Trapecio se habrían condensado precisamente a partir del hidrógeno que se encuentra en esa región. También en la nebulosa Laguna se ha indicado la presencia de protoestrellas.

Halo galáctico. Es una región de forma esferoidal que encierra al disco de nuestra Galaxia en la que se encuentran los denominados cúmulos globulares, es decir, agrupamientos de centenares de miles o millones de estrellas unidas por fuerzas gravitacionales. Estas estrellas representan los elementos más antiguos de nuestra galaxia, los que primero se formaron durante el proceso de condensación de gases galácticos. Los cúmulos globulares son más de un centenar, tienen dimensiones medias de 100 AL y algunos son visibles a simple vista o con la ayuda de un modesto telescopio.

Halo solar. Consiste en un arco o una circunferencia luminosa que se produce alrededor del Sol, cuando la luz de este astro experimenta un fenómeno de Refracción por parte de cristales de hielo en suspensión en la Troposfera. Los halos tienen habitualmente un radio de aproximadamente 22° y presentan en el borde interior una coloración rojiza.

Halo lunar. Circunferencia luminosa que se produce alrededor de la Luna.

Hale, George Ellery. 1868-1938 Astrónomo americano considerado uno de los fundadores de la astrofísica, una rama fundamental de la astronomía. Siendo aún muy joven inventó el espectroheliógrafo, un aparato que se reveló fundamental para el examen de la atmósfera y de la superficie del Sol, con el cual pudo fotografiar las protuberancias solares. Después de haber trabajado durante algún tiempo en su observatorio privado, hecho construir por su padre,

Hale pasó al de Yerkes, donde se dedicó a la espectroscopía estelar y sobre todo al estudio del Sol, que siempre fue su interés principal. En 1905 trabajaba en el observatorio solar de Mount Wilson en California, fundado por él mismo un año antes: allí descubrió que las manchas solares corresponden a áreas más frías y están relacionadas con intensos campos magnéticos y, además, que la polaridad magnética de las manchas se invierte cada ciclo de once años. Después de Mount Wilson, Hale impulsó la construcción del observatorio de Mount Palomar (a ambos se les dio en 1970 el nombre de Observatorios Hale). Los dos telescopios tienen espejos de un diámetro de dos metros y medio y cinco metros respectivamente, y han permitido progresos decisivos en el conocimiento de las otras galaxias. A Hale se debe también la fundación del *Astrophysical Journal*, una publicación aún hoy importante para la difusión de las investigaciones en este campo.

Hale (observatorios). Nombre dado a partir de 1970 a los dos grandes observatorios astronómicos americanos de Mount Wilson y Mount Palomar, en honor al astrónomo George Hale. Ambos están bajo la égida de la Carnegie Foundation y del California Institute of Technology: se alzan el primero a 32 km al Noroeste de Los Angeles y el segundo a 80 km al noreste de San Diego, en California. Los Hale Observatories tienen también una estación astronómica en el extranjero, en Las Campanas, Chile: Espacio 23.

HALLEY, Edmund. 1656-1742 Astrónomo inglés cuyo nombre ha permanecido unido al famoso cometa, pero cuya contribución al desarrollo de la astronomía va mucho más allá del estudio de los cometas y sus órbitas. Nacido en Maggerston, en las cercanías de Londres, comenzó de muy joven los estudios celestes: ya a los veinte años emprendió largos viajes al hemisferio Sur para recopilar un catálogo de las estrellas boreales siguiendo los pasos de lo que John FLAMSTEED (1646-1719), fundador y director del observatorio real de Greenwich, había hecho con las estrellas del cielo austral. Llegado a la isla de Santa Elena, determinó la posición de 341 estrellas que publicó en el Catálogo de las estrellas australes, editado en Londres en 1679. En el mismo año, HALLEY elaboró un método de cálculo de las distancias de los planetas interiores del Sol, basado en la observación del Tránsito de Mercurio y de Venus. En los años sucesivos el astrónomo, que era un fervoroso admirador de Isaac NEWTON (1642-1727), hizo amistad con este otro genio de las ciencias del cielo y lo alentó a completar e imprimir esa obra fundamental de la mecánica celeste que es *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Principios matemáticos de la física natural). En este libro NEWTON enuncia la teoría fundamental que llevará el nombre de Gravitación universal. Sin embargo, algunos capítulos de los Principia están también dedicados al movimiento y naturaleza de los cometas: un interés que fue contagiado a NEWTON por HALLEY quien, desde comienzos del siglo XVIII, se dedicó al estudio de las órbitas cometarias que en aquella época eran poco conocidas. Aplicando los métodos de cálculo analítico inventados por NEWTON, HALLEY re-

construyó las órbitas de veinticuatro cometas aparecidos en el pasado y se dio cuenta de que las órbitas de tres de ellos mostraban una gran afinidad. Propuso entonces la idea de que se trataba del mismo cometa observado en tres retornos sucesivos y escribió esta convicción suya en el libro *Astronomiae Cometicæ Synopsis* (Sinopsis de la astronomía de los cometas), publicado en Londres en 1705: "Muchas cosas me hacen creer que el cometa observado por Apiano en el año 1531 es el mismo que KEPLER y REGIOMONTANO describieron más adecuadamente en 1607, y el que yo he visto volver y he observado en el año 1682. En confianza, podría predecir su vuelta para 1758. Si esta previsión es respetada, no hay razón para dudar que también los otros cometas volverán". Edmund HALLEY murió en 1742, 16 años antes que su hipótesis pudiera ser confirmada. Sin embargo, puntual a la cita que el gran científico le había dado, el cometa de 1682 reaparece en 1758 y fue avistado la noche de Navidad de aquel año por el astrónomo aficionado G. Palitzsh. Si bien usualmente los cometas llevan el nombre de su descubridor, esta vez pareció justo darle el nombre de HALLEY, el científico que estudió su órbita y fue el primero en predecir la naturaleza del astro con retornos periódicos.

Halley (cometa de). En la voz Cometa ya se ha visto cómo están constituidos, qué orbitas siguen y cuáles son las hipótesis sobre sus orígenes. En la voz HALLEY, Edmund, se ha dicho por qué un famoso cometa periódico tomó el nombre del ilustre astrónomo inglés. Ahora, aquí, trataremos las características particulares de este cometa y la gran importancia histórica que ha tenido en los pasados siglos. Características físicas. Contrariamente a cuanto se consideraba hasta hace algunos decenios, el cometa Halley tiene un núcleo muy pequeño: los cálculos más recientes indican un diámetro de alrededor de 3 km. Se trataría, de acuerdo con la definición del astrónomo Fred WHIPPLE, de una verdadera bola de nieve sucia, formada esencialmente por hielo mezclado con granos de polvo. En lo que respecta a la composición química, en el último pasaje de 1910 se determinaron, gracias al análisis espectroscópico, las bandas de emisión del metano (CH), del radical cianógeno (CN), del carbono biatómico y triatómico (C₂, C₃), del óxido de carbono ionizado (CO⁺), del nitrógeno molecular ionizado (N₂⁺). Se trata, como ya se ha dicho, de productos secundarios que se encuentran en la cabellera y en la cola del cometa y que provienen de la disociación de las llamadas moléculas madres presentes en el núcleo, es decir, de moléculas de agua, metano, amoníaco, etc. La densidad estimada del núcleo del Halley es de 1 g/cm³, igual a la de agua. En lo relativo a la órbita, el Halley es un cometa de breve periodo (según la definición, se dice de breve periodo a un cometa que gira alrededor del Sol en menos de 200 años), realiza un circuito completo en aproximadamente 76 años, sobre una órbita relativamente excéntrica ($e = 0,967$), inclinada unos 162° con respecto al plano de la órbita terrestre, desplazándose con movimiento retrógrado, es decir contrario al movimiento de los planetas. En el punto más próximo al Sol (perihelio), el Halley tiene una distancia de 88 millones de km (un poco más distante que Mercurio, que está en órbita a unos 58 millones de km al Sol); en el punto más lejano (afelio), a más de 5.300 millones de km (entre las órbitas de Neptuno y Plutón). En base a las pequeñas variaciones orbitales observadas, hoy se considera que el núcleo del cometa está animado también por un periodo de rotación alrededor de un eje de simetría de alrededor de 10 horas. La observación por medio de sondas. El Halley tiene una importancia científica extraordinaria. A pesar de los milenios que está en órbita alrededor del Sol, emitiendo gases y

polvos en grandes cantidades, cada vez que se encuentra en las proximidades del perihelio y que el calor solar lo sobrecalienta, aún es un cometa rico en elementos volátiles; por lo tanto, es considerado como uno de los objetos más interesantes para una exploración espacial desde cerca, por medio de sondas automáticas. Con esta finalidad, en 1985, un año antes de su próximo paso por el perihelio, el Halley será el objetivo principal de al menos cuatro misiones espaciales. Por primera vez en la historia de la astronomía será posible observar y analizar, en su proximidad, el núcleo de un cometa, verificar la teoría de la bola de nieve y estudiar los procesos de formación de la cabellera y de la cola. La misión más adecuada es la que prepara la ESA, la Agencia Espacial Europea, y que está confiada a un vehículo bautizado Giotto en honor al gran artista medieval Giotto di Bondone, que en 1301 vio en cielo al cometa Halley (que obviamente en aquellos tiempos no se llamaba así) y lo inmortalizó en su famoso fresco la Adoración de los Reyes Magos, que aún se puede admirar en el interior de la Capilla de los Scrovegni en Padua. La sonda Giotto tiene la forma de un cilindro de 1,9 m de diámetro y 3 m de altura, y un peso de 950 kg. En un extremo, que corresponde a la dirección de avance de la sonda, hay un escudo que protege los instrumentos de las partículas sólidas del cometa; en el otro extremo, una antena discoidal transmitirá los datos hacia la Tierra. El denominado paquete instrumental de la sonda, además de varios tipos de sensores para la medida de las características físicas y químicas del cometa, contiene un pequeño telescopio que deberá apuntar hacia el núcleo del astro, proporcionando por primera vez a los astrónomos imágenes detalladas del corazón del cometa. La Giotto deberá partir a bordo de un misil Ariane 2, alrededor del 10 de julio de 1985, desde la base de Kourou en la Guyana francesa. La travesía tendrá una duración de ocho meses y el encuentro con el cometa deberá efectuarse entre el 12 y el 13 de marzo de 1986. Está previsto que el vehículo espacial europeo atraviese velozmente el interior de la cabellera pasando delante del núcleo a unos 200 km de distancia. La velocidad relativa entre los dos cuerpos será de 250.000 km/s y, por lo tanto, se piensa que la travesía de los gases cometarios, que constituyen una envoltura de alrededor de 400.000 m, durará apenas un minuto y medio. Si el instrumento óptico no se daña por el golpe con las pequeñas partículas de polvo, podremos tener fotos en colores del núcleo antes, durante y después del paso desde cerca con una resolución tal como para poder observar de talles del tamaño de 30 m sobre la superficie del propio núcleo. Por el mismo periodo, se acercarán al cometa Halley dos sondas espaciales soviéticas y una japonesa. Los dos vehículos soviéticos, bautizados Venera-Halley después de haber realizado una exploración del planeta Venus, pasarán a notable distancia del cometa (según las previsiones a unos 10.000 km) para efectuar una serie de tomas fotográficas; en este caso, la resolución prevista será alrededor de 200 m. La sonda japonesa, bautizada Planet A, se propone preferentemente fotografiar el cometa en luz ultravioleta, a una distancia no inferior de 10.000 km. Los EEUU, que hacia finales de los años 70 habían programado una precisa misión de reconocimiento del cometa Halley, han tenido que renunciar a la empresa a causa de los cortes presupuestarios de la NASA. Con el fin de no dejar pasar completamente un objetivo cometario, han decidido desviar hacia el cometa periódico Giacobini-Sinner (que pasa cerca de la Tierra cada 13 años), la sonda espacial ISEE 3. Además de las exploraciones en proximidad por medio de sondas espaciales, el cometa de Halley será observado, durante su retorno aproximado a la Tierra, también por medio de un amplio programa de observaciones

programa de observaciones astronómicas convencionales. A este propósito los astrónomos ya han logrado una primicia: la individualización del cometa a unas 11 UA de distancia del Sol: más allá de la órbita de Saturno. Jamás un cometa había sido visto a tal distancia del Sol, cuando aún no está rodeado por esos vistosos atributos que son la cabellera y la cola. Este logro fue obra, en 1982, de un grupo de estudiosos del Instituto de Tecnología de California (Cal Tech). Ya en 1977 varios grupos de astrónomos dirigían los más potentes telescopios del mundo hacia las zonas del cielo en las que los cálculos preveían debería encontrarse el cometa, pero aún no aparecían rastros del famoso viajero cósmico en las emulsiones fotográficas. Finalmente el 16 de octubre de 1982, utilizando el gran reflector Hale de 5 metros de diámetro, situado en Mount Palomar, en combinación con una sensibilísima telecámara que deberá montarse sobre el Space Telescope (la llamada Wide Field Planetary Camera, o sea cámara de amplio campo planetario), los astrónomos del Cal Tech lograron localizar el Halley bajo forma de una minúscula estrellita de veinticuatroava magnitud sobre el fondo de la constelación del Can Menor. Su posición coincidía casi exactamente con lo que estaba previsto por las efemérides: signo de que el cometa sigue su recorrido entre los planetas sin variaciones sustanciales. Para observarlo, hay que señalar que, hasta la primera mitad de 1984, el cometa se encontrará en el exterior de la órbita de Júpiter, a una distancia de más de 5 UA, y por consiguiente las sustancias volátiles contenidas en su núcleo no habrán recibido suficiente calor para liberarse y formar la cabellera y la cola: por lo tanto será difícil poderlo observar con modestos instrumentos. Sin embargo, a partir de finales de 1985, cuando el cometa alcance la luminosidad de 10^m , también un aficionado podrá observarlo en el cielo. Con este fin publicamos una tabla con las coordenadas celestes del Halley, previstas entre el 15 de octubre de 1985 y el 15 de octubre de 1986, según los cálculos efectuados por el Jet Propulsion Laboratory de Pasadena (California). El próximo paso del Halley, sin embargo, no será muy favorable para las observaciones instrumentales y visuales desde la Tierra. El cometa no alcanzará ese alto nivel de espectacularidad que lo convirtió en protagonista de la escena celeste en 1910. Los periodos de visibilidad más favorable para intentar la observación a simple vista en Europa meridional son tres. El primero será del 5 al 25 de enero de 1986. El cometa será visible de noche, inmediatamente después del ocaso, en dirección Oeste, abajo en el horizonte. La magnitud irá en aumento de pero la posición del astro sobre el horizonte será siempre baja. El segundo periodo de visibilidad estará comprendido entre el 6 de marzo y el 5 de abril de 1986. El cometa será visible por la mañana, antes del alba, en dirección Sud-Este, abajo en el horizonte. La magnitud será de 5^m a 4^m . El tercer periodo de visibilidad estará comprendido entre el 18 y el 25 de abril de 1986. El cometa será visible de nuevo por la noche, inmediatamente después del ocaso, en dirección Sur-Sud/Este, abajo en el horizonte. Su magnitud será de $4^m,6$ a $5^m,4$. Los enemigos que se opondrán a una buena observación del Halley serán la turbulencia atmosférica (que en algunos casos interferirá con los mejores periodos de visibilidad) y, para quien lo observe desde las ciudades, las luces difusas de la iluminación callejera. Los astrónomos aconsejan desde ahora observaciones desde altas alturas, más allá de los 1.000 metros, lejos de los centros habitados y preferentemente en bajas latitudes.

HEAO (satélites). Serie de satélites astronómicos así bautizados por la sigla de High Energy Astronomy Observa-

tory (observatorio astronómico de alta energía). Se trata de tres satélites americanos estudiados para observar el cielo a través de los rayos X y los rayos γ , continuando las investigaciones comenzadas desde los satélites de la serie SAS (Small Astronomy Satellites). HEAO 1 fue lanzado en 1977 y efectuó un análisis global del cielo a través de los rayos X. HEAO 2 fue lanzado en el año 1978 y estudió fuentes individuales de rayos X. HEAO 3 fue lanzado en 1979 y estudió el cielo a través de los rayos γ .

Helio. Es el elemento más liviano y el más abundante, después del Hidrógeno, que puede encontrarse en el Universo. De cada 1.000 átomos, aproximadamente, tomados al azar en el Universo, 839 son de hidrógeno, 159 de helio y apenas 2 de otros elementos más pesados. Se considera que la mayor parte del helio presente en el Universo se originó en la fase primordial, después del Big Bang, mientras apenas el 15 % sería el resultado de las reacciones nucleares que se llevan a cabo en el corazón de las estrellas. En nuestro Sol, por ejemplo, se desarrolla activamente un proceso de fusión que lleva a la transformación de átomos de hidrógeno en helio.

Heliocéntrica (teoría). Literalmente heliocéntrica quiere decir con el Sol en el centro y es el nombre que se da a la teoría elaborada por Nicolás COPÉRNICO (1473-1543) en oposición a la geocéntrica (con la Tierra en el centro), que era la adoptada desde la época de ARISTÓTELES (384 322 a. de J.C.). La teoría heliocéntrica tardó en afirmarse por la oposición de la Iglesia, que la consideraba una herejía por cuanto iba en contra de lo dicho por las Sagradas Escrituras. El propio Galileo GALILEI (1564-1642), que, con sus primeras observaciones al telescopio trataba de sostener con demostraciones la teoría heliocéntrica, fue obligado a abjurar por la Inquisición.

HERSCHEL, sir John. 1792-1871 Astrónomo inglés hijo del célebre William. Interesado en muchas cosas, desde la fotografía a la botánica y la meteorología, John HERSCHEL hizo su contribución más importante en la astronomía. Desde 1834 a 183 efectuó un preciso reconocimiento del cielo austral durante su estancia en Sudáfrica; descubrió más de 500 nebulosas y estudió las estrellas dobles, recopilando unas 2.195 y sugiriendo un método para calcular sus órbitas. Excelente divulgador científico de astronomía, fue uno de los promotores de la Royal Astronomical Society.

HERSCHEL, Lucretia Karoline. Hermana del gran astrónomo William, Karoline fue llamada en 1772 de su natal Alemania por su hermano, que estaba en Inglaterra; a partir de ese momento vivió junto a él ayudándole incansablemente en su trabajo y adquiriendo con el tiempo una práctica tal que hizo de ella una astrónoma muy autorizada. Karoline es conocida sobre todo como cazadora de cometas: descubrió unos siete (según algunos ocho) con un telescopio de 15 cm de apertura construido por William. Debe recordarse también su trabajo de revisión del catálogo estelar de FLAMSTEED.

HERTZSPRUNG, Ejnar. 1873-1967 Astrónomo danés, cuyo nombre está unido al descubrimiento de un diagrama de fundamental importancia para comprender la evolución estelar, conocido como diagrama de Hertzsprung-Russell. Interesándose de joven en los estudios de espectroscopía estelar, HERTZSPRUNG estudió a fondo la relación que existe entre la temperatura de una estrella y su luminosidad. De

ello nació la idea del diagrama, en el cual se ve que las estrellas se pueden subdividir en estrellas de secuencia principal (a la cual pertenece nuestro Sol) estrellas gigantes rojas y estrellas enanas blancas. Estos mismos estudios eran realizados simultáneamente, y de manera independiente, por el astrónomo americano Henry Norris RUSSELL, de aquí la doble atribución dada al diagrama. HERTZSPRUNG estudió también el cúmulo estelar de las Pléyades y determinó la distancia de la Pequeña Nube de Magallanes utilizando el método de las Cefeidas

Hertzsprung–Russell (diagrama). El diagrama de Hertzsprung–Russell, ideado independientemente por E. HERTZSPRUNG y H. N. RUSSELL entre 1905 y 1913, es un diagrama estadístico en el que las estrellas están clasificadas en base a la temperatura y a la luminosidad. La representación está hecha sobre un plano de Coordenadas cartesianas en las que se dispone la temperatura superficial de las estrellas sobre el eje horizontal, en sentido decreciente de izquierda a derecha (ya que, como es sabido, la temperatura superficial corresponde a una determinada categoría espectral, lo que equivale a poner en el eje horizontal las propias categorías espectrales o bien los colores estelares del blanco hacia el rojo); y la luminosidad sobre el eje vertical, en sentido creciente de abajo hacia arriba (en particular se adopta la magnitud absoluta, es decir, la magnitud correcta teniendo en cuenta la distancia). Procediendo así se nota que la mayor parte de las estrellas ocupa una diagonal del diagrama que ha sido definida como secuencia principal. En ella las estrellas azules de gran masa y luminosidad, como Spica y Sirio, se encuentran arriba a la izquierda. Las estrellas amarillas de mediana magnitud y luminosidad, como el Sol, se encuentran en el centro; las rojas y pequeñas, como Próxima Centauri, están abajo a la derecha. Además de la secuencia principal, el diagrama está caracterizado por otra rama, arriba a la derecha, en la que hay una mayor densidad de estrellas gigantes y supergigantes rojas de baja luminosidad, como Arturo, Aldebarán, Betelgeuse y Antares. Por último abajo a la derecha, hay una mayor densidad de enanas blancas de elevada luminosidad, como Sirio B. Las observaciones evolutivas que se pueden hacer sobre el diagrama de Hertzsprung–Russell son, como decíamos al comienzo, muy importantes. Se nota, en efecto, que la secuencia principal está ocupada por estrellas llegadas a la madurez, como nuestro Sol. Representa también el estadio evolutivo en el que una estrella transcurre la mayor parte de su existencia, con la diferencia de que las estrellas más grandes y macizas queman más rápidamente su combustible nuclear y tienen una madurez relativamente más breve; las más pequeñas frías se comportan de manera completamente opuesta; el Sol está, como ya se ha dicho, a mitad de camino entre dos extremos. La rama de las gigantes y supergigantes rojas representa, en cambio, una etapa evolutiva subsiguiente a la secuencia principal. Muy probablemente nuestro Sol, después de haber agotado el hidrógeno que actualmente es su principal combustible nuclear, experimentará un doble proceso de contracción en el centro y de dilatación en la periferia, convirtiéndose en una gigante roja y saliendo por lo tanto de la secuencia principal. Por último, una ulterior etapa de evolución, antes de la muerte definitiva, será la correspondiente a la transformación en enana blanca: esta vez el Sol descenderá al extremo inferior del diagrama antes de desaparecer totalmente como estrella.

Hevelius, Johann. 1611-1687 Astrónomo polaco nacido en Danzig (su verdadero apellido, luego latinizado, era Hevel-

ke) y formado en Leyde, Holanda, conocido por sus estudios sobre los cometas, la Luna y por la recopilación de un catálogo estelar. En 1641, se construyó en Leyde un observatorio privado que llamó Stellaeburgum (ciudad de las estrellas) y desde el que realizó numerosas observaciones hasta que fue destruido por un incendio. Fue constructor de instrumentos ópticos y para observar la Luna y los planetas realizó un inmenso refractor que tenía una longitud de 46 metros, sujeto por un complejo sistema de poleas y contrapesos. En su Selenographia de 1647 nos ofrece, por primera vez, un detallado mapa de la superficie lunar acompañado de una nomenclatura de los cráteres, de las llanuras y de los mayores relieves. De los nombres dados por Hevelius a la geografía lunar, sólo unos pocos sobreviven aún hoy porque se prefirió adoptar la nomenclatura de su contemporáneo italiano Giovanni Battista Riccioli (1598-1691). Las precisas observaciones de la superficie lunar le llevaron también a la exacta determinación de la Libración, una especie de oscilación de la que está dotado el disco lunar. Hevelius también fue descubridor y estudioso de las órbitas cometarias. Autor de una Cometographia aparecida en 1668, pensaba que los cometas se formaban en la atmósfera de Júpiter y de Saturno y des de aquí, viajando a través de un espacio lleno de un elemento resistente al movimiento, seguían trayectorias parabólicas, como las balas disparadas por un cañón. Esta visión reflejaba una ignorancia de la ley de la Gravitación Universal, que poco antes había formulado NEWTON. El trabajo de determinación de las posiciones estelares está reunido en un catálogo que comprende las coordenadas de más de 1.500 estrellas y que fue publicado póstumamente en 1690.

HEWISH, Anthony. Radioastrónomo inglés nacido en 1924 y descubridor de los Púlsar, esos objetos estelares que se consideran responsables de la emisión de rapidísimos y regulares impulsos de radio, y ganador, por este descubrimiento, del premio Nobel 1974 de física. El descubrimiento de HEWISH se remonta a mediados de 1967 y fue efectuado con el gran radiotelescopio del Mullard Radio Astronomy Observatory de Cambridge, Inglaterra. Al año siguiente HEWISH sugirió también que los púlsar no son otra cosa que pequeñas estrellas de neutrones en rápida rotación, según un modelo que ya había sido elaborado por los físicos teóricos.

Híades. Es uno de los Cúmulos globulares visibles del hemisferio boreal y situado en la constelación de Tauro. Tiene una forma en V, dista unos 148 AL y es, por lo tanto, el cúmulo de estrellas más próximo a nuestro sistema solar. Desde el punto de vista estructural, forma parte de los llamados cúmulos abiertos, es decir, esos grupos de estrellas que por lo general se encuentran sobre el plano de la Galaxia. El cúmulo de las Híades está constituido en particular por unas 150 estrellas, distribuidas sobre un diámetro de unos doce añosluz, todas de mediana y joven edad.

Hidalgo. Es uno de los Asteroides más singulares hasta ahora conocidos. Como es sabido, esta clase de objetos está en órbita, por lo general, en un espacio comprendido entre Marte y Júpiter, aunque algunos se apartan de esta norma. Hidalgo tiene la órbita más grande que se conoce para un asteroide. Tiene un perihelio de alrededor de 2 UA desde el Sol: hasta aquí nada de excepcional. Sin embargo el afelio llega a las 9,7 UA: esto quiere decir que se aleja de la órbita de Saturno. En estas incursiones hacia el sistema solar externo, Hidalgo realiza encuentros próximos con Júpiter:

en 1673 se acercó al mayor planeta a una distancia de 56 millones de kilómetros.

Hidrógeno. Es el elemento más liviano y simple que existe en la naturaleza. Su átomo está formado por un solo protón en el centro y un electrón que gira a su alrededor. También es el elemento más abundante que se encuentra en el Universo. En promedio, representa alrededor del 83,9 % de todos los átomos presentes en el Universo. El hidrógeno se encuentra en el espacio fundamentalmente en tres formas: 1) Hidrógeno neutro: Representa la parte más relevante de la materia interestelar. Se halla en estado de gas frío que no emite en las regiones visibles del espectro y es localizado por los radioastrónomos gracias a una emisión de radio en la longitud de onda de los 21 cm. Los brazos en espiral de nuestra Galaxia contienen grandes cantidades de hidrógeno neutro. Las zonas en las que se encuentra el hidrógeno neutro son definidas por los astrónomos como regiones H. 2) Hidrógeno ionizado: Es el que se encuentra junto a las estrellas en formación. Se trata de gas caliente en el que, a causa de la radiación ultravioleta emitida por los embriones de estrellas, los electrones de los átomos de hidrógeno han sido apartados y ya no giran alrededor de sus respectivos núcleos. El hidrógeno ionizado, por lo tanto, está formado por una mezcla de protones y electrones libres. Los electrones, sin embargo, tienden a recombinarse con los protones y en este proceso se obtienen emisiones luminosas determinables. La región en la que existen nubes de hidrógeno ionizado son definidas regiones H II. 3) Hidrógeno molecular: Cuando se forman condensaciones de hidrógeno a elevadas densidades, los átomos de este elemento se unen en forma molecular (la molécula del hidrógeno está formada por dos átomos unidos entre sí: H₂). Habitualmente estas combinaciones son fácilmente escindidas por las radiaciones ultravioletas, pero en condiciones particulares, por ejemplo cuando las nubes de hidrógeno están cubiertas de partículas de polvo, el hidrógeno subsiste en estado molecular. La diferencia de densidad entre las regiones de hidrógeno neutro y las de hidrógeno molecular es enorme: en las primeras se encuentra en promedio, un átomo de hidrógeno cada 5 cm³; en las segundas se encuentran millones de moléculas en el mismo volumen.

HIPARCO de Nicea. Aprox. 190 a. J.C. - 125 a. J.C. Es uno de los llamados cuatro grandes astrónomos alejandrinos, porque con sus estudios realizados en la ciudad de Alejandría determinaron un periodo de gran florecimiento de la astronomía griega (los otros tres alejandrinos fueron: ARISTARCO de Samos, ERATÓSTENES y TOLOMEO. HIPARCO tal vez deba su mayor notoriedad a un catálogo de alrededor de 850 estrellas en las cuales introdujo, por primera vez, sus magnitudes estelares: para mayor precisión, seis clases de luminosidad de las estrellas, desde la primera que reagrupa a las estrellas más luminosas, a la sexta que comprende la más débiles. Su clasificación, con algunas modificaciones, subsiste aún hoy. La precisión de las posiciones estelares de HIPARCO determinadas y comparadas con los atlas del pasado, permiten también al astrónomo griego descubrir el movimiento de Precesión del eje terrestre: ese movimiento muy similar a una oscilación del eje de una peonza que, realizándose en unos 26.000 años, determina un cambio de la estrella hacia la cual apunta el eje terrestre mismo y, por lo tanto, también una lenta variación de las coordenadas estelares. A HIPARCO se debe también la determinación del periodo de revolución de la Tierra alrededor del Sol (año solar) con la precisión de seis minutos. Nada nos queda de las obras escritas del astrónomo, sino por vía indirecta. Hoy

se sabe con seguridad, por ejemplo, que el famoso Almagesto de TOLOMEO se basa abundantemente en los escritos de HIPARCO. En honor del gran astrónomo griego, un satélite de la ESA, destinado a efectuar estudios de →*astrometría*, ha sido bautizado Hipparcos.

Hipérbolo. Se trata de una curva cónica, es decir de las que pueden obtenerse cortando un cono con un plano. Desde el punto de vista astronómico y astronáutico, la hipérbolo es una órbita abierta, típica de un cuerpo que procede a velocidades superiores a las necesidades para escapar al centro de atracción, por ejemplo al Sol.

Hipparcos (satélite). Nombre de un satélite en fase de realización por parte de la ESA (European Space Agency), destinado a investigaciones de →*astrometría*, es decir, al estudio de las posiciones estelares, con una exactitud inalcanzable por los instrumentos de tierra. Gracias a Hipparcos, que será puesto en órbita terrestre en 1986 y que deberá permanecer en funcionamiento alrededor de dos años y medio, será posible mejorar diez veces más la precisión obtenible en las medidas de Paralaje estelar. Esto permitirá recalcular la distancia de las estrellas y, por lo tanto, conocer con mayor exactitud la estructura de nuestra Galaxia. Se piensa que, a través de la medida de las oscilaciones de las estrellas alrededor de sus propios centros de gravedad causadas por eventuales planetas, Hipparcos pueda dar una respuesta a la interrogante, aún no resuelta, de si existen planetas extrasolares. El satélite ha sido llamado así en honor a HIPARCO, el astrónomo de la antigua Grecia, que fue el primero en dedicarse a la recopilación de un catálogo conteniendo las posiciones de un millar de estrellas y la determinación de su luminosidad. Hipparcos, que será lanzado con el transportador europeo Ariane, tendrá un peso en órbita de unos 500 kilos.

Horizonte aparente. Se define horizonte aparente a una circunferencia máxima obtenida haciendo pasar un plano tangente al lugar de observación hasta encontrar la Esfera celeste. La línea del horizonte divide la esfera celeste en hemisferio visible y otro invisible.

HOYLE, Fred. Astrónomo inglés nacido en 1915, famoso por sus estudios en cosmología y por sus teorías sobre la difusión de la vida en el Universo; también es conocido por sus novelas de ciencia ficción, entre las cuales caben citarse La nube Negra y A de Andrómeda. Al comienzo de los años 50, HOYLE se adhirió a la teoría del Estado estacionario, desarrollada por Thomas GOLD y Hermann BONDI, y dio una explicación matemática aportando una serie de modificaciones a las ecuaciones de la relatividad general de EINSTEIN. Según esta teoría, hoy abandonada, el Universo aparece igual en el tiempo y una nueva materia es creada a medida que se expande. Más tarde, HOYLE desarrolló la teoría de la formación de los elementos a través de la reacción de fusión nuclear en el interior de las estrellas. Después, hacia finales de los años 70, junto con el astrónomo de origen hindú Chandra Wickramasinghe, HOYLE formuló la hipótesis de que en las nubes de gases y polvos que rodean las estrellas en formación, se encuentran microorganismos en plena actividad reproductiva. La prueba de su existencia, según los dos autores, se encontraría en la interpretación de las bandas espectrales que se obtienen observando estas nubes, en las cuales, en efecto, abundan las materias orgánicas. Correspondería a los cometas, además, el papel de distribuir esta vida elemental en el Universo. En

el interior de los núcleos cometarios, de acuerdo con HOYLE y Wickramasinghe, los microorganismos podrían encontrar albergue durante largos periodos de tiempo, permaneciendo en estado de vida latente. Llegando finalmente a un planeta adecuado para la vida, se multiplicarían dando comienzo a un ciclo evolutivo planetario. Y así, de acuerdo con los dos científicos, es como podría haber comenzado la vida sobre la Tierra. Esta teoría ha sido bautizada nueva panspermia, porque toma, ampliándola y modificándola, la teoría del panspermia, expuesta a comienzos del siglo XX por el sueco, premio nobel de química, Svante ARRHENIUS (nacido en 1859 y fallecido en 1927). Aunque criticado por la audacia de tales afirmaciones que rayan en la ciencia ficción, HOYLE personifica, sin embargo, al exponente típico de un cierto ambiente académico anglosajón que, sin abandonar el rigor del método científico, se distingue por la originalidad y osadía de las investigaciones.

HUBBLE, Edwin Powell. 1889-1953 Astrónomo americano célebre por haber descubierto que el Universo se expande, aunque su contribución al conocimiento del Universo mismo es muy amplia y va más allá de esta premisa fundamental. Uno de sus primeros descubrimientos se remonta a 1919, cuando demostró que en el interior de nuestra Galaxia existen nubes de hidrógeno que se hacen luminosas por la existencia de estrellas en su interior. En 1923 descubrió una estrella variable de tipo Cefeida en la nebulosa de Andrómeda y, gracias a la relación luminosidad-distancia que caracteriza a estas estrellas, pudo demostrar que Andrómeda no está en el interior de nuestra Galaxia, sino afuera, y que es un sistema de estrellas completamente similar al de nuestra Galaxia. A HUBBLE también se le debe la clasificación de las Galaxias según su estructura. En 1925, midiendo el Desplazamiento hacia el rojo de las lejanas galaxias, se dio cuenta de que éstas se alejan con velocidad creciente cuanto mayor es su distancia. Este principio fundamental de la cosmología moderna, que ha tomado el nombre de Ley de Hubble, es la base de la teoría según la cual el Universo, surgido de una gran explosión primordial (Big-Bang), está siempre en expansión. Antes de morir, HUBBLE participó también en el diseño del mastodóntico telescopio americano de Monte Palomar en California.

Hubble (constante de). La ley formulada por el astrónomo E.P. HUBBLE, según la cual las galaxias se alejan con una velocidad proporcional a su distancia, se puede resumir en la simple fórmula $V = H \cdot R$, donde V es la velocidad de alejamiento o recesión de las galaxias, habitualmente medida en km/s; R la distancia en megaparsec y H una constante de proporcionalidad. Esta constante, también llamada de Hubble, tiene un significado particular porque da una medida de la rapidez con que se expande el Universo, y por lo tanto también da la posibilidad de calcular cuánto tiempo ha transcurrido desde el momento del origen del Universo mismo (Big-Bang) hasta hoy. Según los cálculos más recientes, el origen del Universo puede remontarse entre 16 y 18 mil millones de años. Según algunas teorías cosmológicas, la constante de Hubble, y, por lo tanto, la capacidad de expansión del Universo, no varía con el tiempo. Esto significa que la expansión del Universo continuaría indefinidamente; según otras, debería disminuir con el tiempo. En este último caso, la expansión se haría más lenta e incluso podría detenerse: el Universo frenado por su misma fuerza de gravedad terminaría en un gran colapso.

Huggings, William. 1824-1910 Astrónomo inglés, uno de los pioneros de los estudios de espectroscopía estelar, conocido por haber demostrado que las estrellas son masas de gas incandescente muy similares a nuestro Sol y por haber determinado sus elementos químicos constitutivos. Aplicó el análisis espectroscópico también al estudio de las lejanas nebulosas, pero no logró interpretar las líneas de emisión, cosa que hizo más tarde el astrónomo americano Ira S. Bowen (1898-1973), atribuyéndolo a átomos ionizados de oxígeno y nitrógeno. Huggings se dedicó también a los estudios de espectroscopía cometaria y, después de que el italiano Giovan Battista DONATI (1826-1873) hubo realizado el primer espectro visual de un cometa en 1864, él logró uno fotográfico, determinando los compuestos del carbono como algunos de los elementos constitutivos de estos astros.

Huso horario. A causa de la rotación de la Tierra alrededor de su propio eje, que como es sabido se produce en sentido antihorario, en cada lugar se alternan el día y la noche. En todos los puntos que se encuentran a lo largo del meridiano enfrente directamente hacia el Sol es mediodía; en todos aquellos que se encuentran a lo largo del meridiano opuesto, a 180 de distancia en longitud, es medianoche. Cuando el Sol se encuentra sobre el meridiano de nuestra ciudad obviamente aún no ha alcanzado el meridiano de otra ciudad inmediatamente al Oeste con respecto a la nuestra. De esto surge que el mediodía astronómico varíe de punto a punto para lugares incluso vecinos. Desde un punto de vista riguroso, cada ciudad debería tener su tiempo local. Para regular esta materia, en 1884 se llegó a un acuerdo internacional por el cual la Tierra es dividida en 24 husos horarios, comprendiendo cada uno una banda de 15 contenida entre dos meridianos. Se estableció fijar como meridiano de origen el que pasa por Greenwich. La base del actual sistema horario es el denominado tiempo medio de Greenwich (abreviado G.M.T.) o tiempo universal (abreviado U.T.). Por ejemplo, Italia pertenece al segundo huso horario también llamado tiempo medio de Europa Central. Todos los países pertenecientes a este huso adoptan, por convención, un tiempo retrasado de una hora con respecto a los que forman parte del meridiano de Greenwich (primer huso horario). El tiempo establecido de este modo también es llamado tiempo civil y no corresponde necesariamente al tiempo verdadero, es decir, al astronómico.

HUYGENS, Christiaan. 1629-1695 Físico y astrónomo holandés conocido, entre otras cosas, por haber sido el primero en dar una explicación satisfactoria de los anillos de Saturno, a los que describió como un conjunto de partículas en órbita alrededor del planeta. Un año antes, en 1655, HUYGENS había descubierto el mayor satélite de Saturno, Titán y, algún tiempo después, siempre gracias a un excelente instrumento de su fabricación, observó por primera vez una formación en Marte, a la que se le dio nombre de Syrtis Maior. Se piensa, además, que fue el primero en asimilar el comportamiento de la luz al de una onda, haciendo posible así, por fenómenos de refracción y reflexión, dar explicaciones más convincentes que las basadas sobre la teoría corpuscular de la luz. En 1673, HUYGENS inventó el reloj de péndulo, que permitió realizar notables progresos en los trabajos astronómicos, y científicos en general, relacionados con la medida del tiempo.

Hyperión. Satélite de Saturno, el séptimo en orden de distancia desde el planeta. Está en órbita a una distancia media de 1.481.000 km, realizando una vuelta en poco más de veintidós días y seis horas. De forma relativamente irre-

gular, tiene un diámetro de alrededor de 300 km, una masa mil veces inferior a la de nuestra Luna. Hyperión fue descubierto en 1848 por el astrónomo William C. BOND (1789-1859).

IAU. Sigla de la International Astronomical Union, la organización que reúne a los astrónomos de todo el mundo. Fundada en 1919, se ocupa de coordinar las investigaciones internacionales, establecer la nomenclatura de la geografía celeste, dar los nombres a los nuevos objetos descubiertos, etc. De fundamental importancia es el servicio de los llamados telegramas astronómicos a cargo de la oficina central de la IAU en Cambridge, Massachusetts (EEUU), en el Smithsonian Astrophysical Observatory, que informa de inmediato a los inscritos del descubrimiento de estrellas novas y supernovas, de asteroides y cometas, permitiendo una observación y una comprobación inmediata por parte de los interesados. La IAU organiza asambleas plenarias de todos los astrónomos cada tres años en diversas partes del mundo.

Icaro. Nombre de un singular asteroide del grupo Apolo, caracterizado por una órbita muy excéntrica e inclinada unos 23° con respecto a la terrestre, que lo lleva, por un lado a pasar más cerca del Sol que Mercurio, a una distancia de apenas 0,19 UA (unos 28 millones de km), y, por otro lado, a alejarse hasta 2 UA del Sol (unos 300 millones de km), es decir, más allá de la órbita de Marte. En el curso de esta órbita, que tiene una duración de un año y un mes aproximadamente, Icaro realiza pasajes próximos a la Tierra. En junio de 1968 pasó a 6,4 millones de kilómetros de nosotros, haciéndose visible en los telescopios como una estrella de doceava magnitud. Pasará cerca nuevamente en 1987. Desde el punto de vista físico y químico, Icaro no parece otra cosa que un fragmento de roca de apenas un kilómetro y medio de diámetro. Según algunos estudiosos, éste podría ser el núcleo ya desgastado de un antiguo cometa periódico.

ICBM. Sigla de Inter Continental Bakkistic Missile, es decir, misil balístico intercontinental. Se trata de un misil que sólo es guiado en una primera fase de su vuelo hacia el blanco preelegido y que después sigue su curso por inercia, siguiendo una trayectoria balística, es decir la curva típica de un proyectil disparado por un cañón. Los ICBM, usados al comienzo de los años 50 como cohete para cabezas nucleares en el ámbito de la llamada estrategia del terror, que tanto por parte soviética como americana significó un terrible despliegue ofensivo, fueron después utilizados como transportadores de lanzamientos espaciales. Un típico ICBM que ha pasado del arsenal de las armas al de la investigación espacial ha sido el Atlas, un experimentado transportador de dos secciones empleado, entre otras cosas, en las primeras misiones espaciales americanas con hombres a bordo de la serie Mercury.

Ikeya-Seki. Famoso y espectacular cometa que apareció en 1965, descubierto por dos astrónomos aficionados ja poneses que le han dado el nombre: Kaoru IKEYA y Tsutomu SEKI. Este cometa se ha hecho célebre porque representa el único, hasta ahora conocido, en tener el récord de acercamiento al Sol. El fenómeno se produjo el 21 de octubre de 1965, cuando el cometa ICBM penetró en la incandestente-

corona solar pasando apenas a 465.000 km de la superficie de nuestra estrella y dividiéndose después en dos partes. En aquella ocasión el núcleo del cometa, que ya se había rodeado de una bellísima cabellera y una espectacular cola, en las que el análisis espectroscópico había de terminado los componentes volátiles típicos de los Cometas, se acercó a las temperaturas de fusión de los metales; el análisis espectroscópico reveló también las bandas características del hierro y del níquel. Según el astrónomo americano Brian G. MARSDEN, que ha reconstruido las órbitas pasadas del Ikeya-Seki, este cometa proviene de una lejana progenitora que en 1106 se acercó tanto al Sol que experimentó la división del núcleo en dos partes. Uno de estos dos fragmentos habría dado vida al Gran Cometa de Septiembre de 1882; éste también pasó muy cerca del Sol y se dividió posteriormente en dos partes. El segundo fragmento habría originado, precisamente, el Ikeya-Seki el cual, como se ha dicho al principio, se ha dividido también en dos partes. De éstas, una debería volver después de un largo viaje alrededor del Sol, en el 2843; la otra, nada menos que en el 3020. Los cometas que, como el Ikeya-Seki, pasan rozando la superficie del Sol y se dividen en dos o más partes, forman una familia que en honor al astrónomo que los clasificó toma el nombre de grupo de Kreutz. También forman parte de esta familia los cometas que pasan tan cerca del Sol como para ser completamente destruidos. El primer acontecimiento de este tipo ha sido observado y documentado el 30 de agosto de 1979 por un satélite militar americano, el P 78-1, que registró, gracias a un coronógrafo que llevaba a bordo, el progresivo acercamiento y por lo tanto desintegración, acompañada por un rayo de luz, de un desventurado cometa que cayó en el Sol.

Inclinación de la órbita. Es un ángulo formado por el plano de la órbita de un cuerpo celeste (planeta, cometa, asteroide, etc.) con el plano de la órbita de la Tierra. Se indica con la letra minúscula *i*, y se cuenta de 0° a 180° en sentido antihorario. Si el cuerpo celeste tiene una inclinación comprendida entre 0° y 90° , su movimiento se dice retrógrado.

Infrarrojo (astronomía del). En los últimos años, gracias también a los satélites artificiales y a las sondas interplanetarias, se ha podido profundizar en el estudio de los cuerpos celestes a través de las emisiones en el dominio del infrarrojo, es decir, esa parte del espectro electromagnético entre la luz roja visible y las ondas milimétricas (donde comienza la región de las ondas radio). En este intervalo del Espectro electromagnético está comprendida esa radiación que genéricamente notamos como calor. El cielo visto a través de los infrarrojos es muy diferente del que podemos observar a simple vista. La mayor parte de las estrellas más luminosas, en efecto, emite poco al infrarrojo; por otra parte, muchos cuerpos que son potentes fuentes de radiación infrarroja no emiten radiaciones visibles. En general un objeto que emite predominantemente en el infrarrojo es mucho más frío que nuestro Sol, que tiene una temperatura superficial de unos 6.000 K y, por lo tanto, no logra emitir radiaciones visibles. La investigación del cielo a través de los infrarrojos tiene

una enorme importancia para la astronomía, porque permite descubrir objetos de interés cosmológico como estrellas frías en las primeras etapas de su formación, nubes de gas a bajísima temperatura como las regiones H, moléculas y nubes de polvo interestelar. Las observaciones sistemáticas al infrarrojo comenzaron en los años 60 de este siglo. Fue en el observatorio de Mount Wilson, en California, donde fue elaborado el primer mapa del cielo a través de los infrarrojos con el descubrimiento de más de 20.000 fuentes, la mayor parte de las cuales eran estrellas con temperaturas superficiales entre 1.000 y 2.000 K. En la práctica, cualquier telescopio corriente puede hacerse sensible al infrarrojo mediante la aplicación de células fotoeléctricas especiales a base de sulfuros, montadas en el foco primario del objetivo. Sin embargo, se han realizado telescopios astronómicos dedicados a estas investigaciones específicas, como el americano de Mauna Kea en Hawaii, que contiene el instrumento más grande del mundo especialmente apto para la investigación infrarroja: es un reflector de 386 cm. Para este tipo de investigación es fundamental que el observatorio esté a una gran altura, por encima de las formaciones atmosféricas de vapor de agua que absorben la radiación infrarroja. En 1982, se inauguró en Italia el más grande observatorio de Europa de infrarrojos. Ha sido instalado en la cima del Gornegrat (Alpes suizos)/ a 3.200 m de altura y está constituido por un telescopio reflector Cassegrain de 150 cm de apertura. El lugar ideal para la observación al infrarrojo es, de todos modos, el espacio por encima de la atmósfera terrestre. Por este motivo se han fabricado satélites-observatorio como el IRAS, que efectúa exclusivamente determinaciones en el espectro infrarrojo.

Intelsat. Es el nombre de una numerosa serie de satélites para telecomunicaciones y está formado por las iniciales de la frase: International Telecommunications Satellite Corporation (compañía de satélites para las comunicaciones intercontinentales). Fundada en 1964 por un gran número de naciones interesadas, la Intelsat ha dado vida a un sistema global de telecomunicaciones vía satélite, realizado a través de la puesta en órbita Geoestacionaria de verdaderas centrales espaciales cada vez más eficientes y altamente sofisticadas. Los satélites de la serie Intelsat, según su grado de desarrollo, pueden dividirse en cinco generaciones. La primera, Intelsat 1, fue inaugurada por el Early Bird, el primer satélite comercial para telecomunicaciones en ser puesto en órbita geoestacionaria, el 6 de abril de 1965. Tenía una capacidad de 240 canales telefónicos y uno de televisión y estuvo en funcionamiento unos tres años y medio. Permaneciendo suspendido a 36.000 km sobre el Atlántico, Early Bird aseguraba las conexiones entre Norteamérica y Europa. La segunda generación de satélites para telecomunicaciones, Intelsat II, comenzada al año siguiente y caracterizada por cuatro satélites, aun teniendo idéntica capacidad de tráfico, aseguró la cobertura de un área más amplia. Con la tercera generación, Intelsat III, iniciada a finales de 1968 y caracterizada por siete satélites se dio comienzo a la cobertura global. Los satélites, en efecto, además de estacionarse sobre el océano Atlántico, lo hacían también sobre el Índico, asegurando las comunicaciones entre Oriente y Occidente. Los satélites de esta serie podían asegurar hasta 1.200 conversaciones telefónicas simultáneas o cubrir cuatro canales de televisión. La cuarta generación, Intelsat IV, ha comenzado en enero de 1971, con la puesta en órbita de satélites capaces de asegurar 5.000 conversaciones telefónicas o bien 12 canales de televisión en color. A comienzos de los años 80, por último, se ha entrado en la era de los Intelsat V, bastante más potentes y cualificados. Ellos asegura-

rán también las conexiones telemáticas intercontinentales, que tanto desarrollo están teniendo en estos últimos años.

Interferencia. Es un fenómeno que se manifiesta cuando dos rayas de luz de la misma longitud de onda se combinan; es una consecuencia de la naturaleza ondulatoria de la propia luz y de la radiación electromagnética en general. En la práctica, si los dos rayos se hacen coincidir con las ondas en fase, las intensidades luminosas se suman; pero si los dos rayos están desfasados, de manera que la cima de uno coincide con la parte baja del otro, las intensidades luminosas se anulan. El fenómeno de interferencia se provoca artificialmente con dispositivos inventados por pioneros de la óptica como NEWTON y FRESNEL. En astronomía y en astrofísica este fenómeno se aprovecha para valorar medidas angulares exiguas, como la separación entre las componentes de una estrella doble muy estrecha o el diámetro angular de una estrella.

Interferómetros. Se trata de aparatos ópticos o radioastronómicos que, con diversos métodos, aprovechan el fenómeno de Interferencia de las radiaciones electromagnéticas para diferentes tipos de medidas astronómicas. Una de las modernas técnicas de interferometría, tanto óptica como radial, consiste en la observación de la propia fuente estelar con dos telescopios (o bien con dos radiotelescopios) distantes entre sí de manera que haya un desfase en las señales que llegan. A partir de este desfase, a través de una elaboración electrónica de las señales recibidas, se puede llegar a la exacta posición y al diámetro angular de una estrella, o bien, en el caso de estrellas dobles, al valor de su separación angular. Uno de los interferómetros ópticos más avanzados se encuentra en el observatorio de Narrabi, en Australia, a unos 400 km al nordeste de Sidney, y consiste en dos reflectores de 6,5 metros de diámetro, cada uno formado por 251 pequeños elementos reflectores que son conectados a distancias de hasta 200 metros el uno del otro. En el caso de los radiotelescopios, se va perfeccionando desde hace algunos años la interferometría sobre líneas de base muy grandes, que consiste en conectar entre sí grandes antenas parabólicas distantes millares de kilómetros. El poder resolutivo de instrumentos así unidos equivale al de una única e inmensa antena de diámetro igual a la longitud de la línea de base.

IO. Es el más interior de los cuatro satélites de Júpiter descubiertos por GALILEO, y resulta fácilmente visible incluso con un modesto instrumento óptico. Posee un diámetro de 3.640 km, dista 422.000 km de Júpiter y tiene un periodo orbital de 1,8 días. Es el único cuerpo del sistema solar, después de la Tierra, en haber mostrado una persistente e intensa actividad volcánica. La revelación se produjo con las sondas Voyager, que en 1979 lo fotografiaron de cerca.

Iones. Se llaman así a átomos que han perdido o ganado electrones y por lo tanto han pasado del estado neutro al positivo o negativo. El proceso con el que se forman los iones, como consecuencia, por ejemplo, de colisiones a alta velocidad entre átomos o entre átomos y partículas elementales, se llama ionización. La mayor parte del gas interestelar y el gas del que están compuestas las estrellas se encuentra bajo forma ionizada, y está habitualmente constituido por una mezcla de iones positivos y de electrones libres que es llamado Plasma.

Ionosfera. Es una de las capas más externas en la que se suele subdividir la Atmósfera terrestre. Esta capa se encuentra entre los 80 y los 500 km de altura y toma este nombre porque las partículas que la componen están reducidas al estado de iones, a causa del bombardeo experimentado por las radiaciones provenientes del Sol y del espacio exterior. La ionosfera contiene algunas capas, indicadas con las letras D, E, F1 Y F2. las cuales tienen una gran importancia para las transmisiones radio, porque reflejan las ondas cortas y por lo tanto pueden permitir las conexiones de un continente a otro. La ionosfera también es sede de espectaculares fenómenos conocidos como Auroras polares, que se deben a la excitación producida en las partículas de esta capa atmosférica por el Viento solar.

IRAS. Son las iniciales de Infra Red Astronomical Satellite, es decir, satélite astronómico para el infrarrojo: es un aparato revolucionario lanzado el 25 de enero de 1983 desde la base de Vandenberg en California, en el ámbito de una colaboración entre astrónomos americanos, ingleses y holandeses. El IRAS tiene la forma de un cilindro al que se le han agregado los paneles solares. Pesa 1.000 kg y tiene una longitud de 3,25 m. El tubo cilíndrico contiene un telescopio de espejo con un diámetro de 60 cm. Ha sido el primer satélite-telescopio para la determinación sistemática de las fuentes infrarrojas. Su objetivo principal ha consistido en recopilar el primer mapa del cielo infrarrojo de la órbita terrestre, individualizando miles y miles de estrellas y nebulosas, antes desconocidas. La preparación del IRAS ha requerido el desarrollo de una particular tecnología porque se ha tenido que enfriar el telescopio a una temperatura de unos $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$, poco superior al cero absoluto ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) para eliminar la emisión de rayos infrarrojos por parte del propio instrumento, lo cual podría oscurecer la emisión de las fuentes infrarrojas más débiles. El IRAS también puede definirse como un satélite observatorio infrarrojo de la primera generación. Para el futuro, la NASA prepara el proyecto SIRTf (Shuttle Infra Red Telescope Facility) y el más ambicioso denominado LDR (Large Deployable Reflector), mientras la ESA (European Space Agency) ha intentado la realización del proyecto ISO (Infrared Space Observatory), que se concretará en los años 90 con la finalidad de trazar un mapa de casi 40.000 galaxias.

ISIS. Siglas de la International Satellites for Ionospheric Studies, es decir, satélites internacionales para los estudios sobre la ionosfera. Se trata de dos satélites científicos realizados en el ámbito de un acuerdo entre EEUU y Canadá, que han analizado las capas más externas de nuestra atmósfera, continuando los programas de investigación de los dos satélites de la serie Alouette. El ISIS 1 fue lanzado el 30 de enero de 1969 y el ISIS 2 el 1 de abril de 1971.

Isótropo. Es una característica física que se atribuye a un sistema material cuando presenta las mismas propiedades físicas en todas las direcciones, en el sentido de que si se miden magnitudes como conductibilidad eléctrica y térmica, dilatación, etc., no dependen de la dirección. Son isótropos, por ejemplo, todos los gases, los líquidos y los sólidos policristalinos, mientras no respetan esta propiedad, y se dicen por lo tanto anisótropos, los sólidos monocristalinos, para los cuales las propiedades físicas dependen a menudo de la dirección. La isotropía constituye una de las propiedades fundamentales del espacio.

J

Japeto. Octavo satélite de Saturno en orden de distancia desde el planeta de los anillos. Realiza una vuelta completa alrededor de Saturno en setenta y nueve días y ocho horas, a una distancia media de 3.560.000 km. Tiene un diámetro de alrededor de 1.500 km (menos de la mitad del lunar) y una masa un centenar de veces menor que la de nuestro satélite natural. Fue descubierto en 1671 por el astrónomo francés Gian Domenico CASSINI, que en esa época era director del Observatorio astronómico de París.

JANSKY, Karl Guthe. 1905-1950 Es el fundador de la Radioastronomía, el hombre a quien se debe la identificación de la primera fuente celeste bajo longitudes de onda típica de las señales de radio. De profesión ingeniero Karl JANSKY, originario de Oklahoma pero de descendencia checoslovaca, trabajaba en los años 30 en los laboratorios Bell Telephone, en Wisconsin (EE.UU.), en la investigación de las causas que producen interferencia en las comunicaciones telefónicas de larga distancia. Algunas de éstas fueron atribuidas a fenómenos eléctricos atmosféricos como rayos, otras parecían absolutamente desconocidas. En 1932 JANSKY descubrió que una de las fuentes de perturbaciones se encontraba en el espacio exterior a la Tierra, en la dirección de la constelación de Sagitario. Ulteriores investigaciones en la longitud de onda de 15 metros le llevaron a identificar esta fuente astronómica con las emisiones de radio del gas galáctico interestelar. Después de esta fundamental adquisición, correspondió al radio aficionado Grote FEBER dedicarse a los primeros estudios de radioastronomía.

JEANS, sir James. 1877-1946 Astrónomo inglés, conocido sobre todo por su contribución a la hipótesis que describe el origen del sistema solar. Su punto de vista, análogo al elaborado independientemente por Forest MOULTON y Thomas CHAMBERLAIN en los EE.UU., hace referencia a la llamada teoría colisional. Esta teoría avanza la hipótesis de que la formación de los planetas ha estado determinada por un golpe entre el Sol y una estrella que, pasándole cerca, habría quitado materia solar superficial: esta materia sucesivamente se habría subdividido y contraído, dando lugar a los planetas. Aparte de que las probabilidades de una similar colisión son extremadamente bajas, la teoría, por sugestiva no se sostiene desde el punto de vista físico: en efecto, no tiene en cuenta la distribución del momento angular en el sistema solar y olvida el hecho de que la materia muy caliente quitada al Sol tendería a expandirse más que a contraerse. De JEANS es preciso recordar también la formulación de una idea cosmológica, la de la creación continua de materia en el Universo.

JEFFREYS, sir Harold. Geofísico inglés, nacido en 1891, que ha hecho contribuciones esenciales al conocimiento de la constitución interna de nuestro planeta. Fue el primero en comprender que el núcleo de la Tierra es fluido y ha estudiado la oscilación del eje terrestre estableciendo su periodo. Ha realizado también investigaciones sobre la composición y la temperatura de los planetas exteriores. En los años 20 y 30, JEFFREYS retomó la teoría colisional de JEANS sobre

el origen del sistema solar y propuso una variante, la llamada hipótesis mareal, que poco se separaba de la idea básica; fue abandonada cuando se demostró incapaz de explicar la distribución actual del momento angular en el sistema solar. Por esta y por otras razones, a partir de los años 40, fueron olvidadas todas las teorías dualísticas, es decir, aquellas que tomaban dos cuerpos (por ejemplo el Sol y otra estrella) para explicar la formación de los planetas.

Jodrell Bank. Es uno de los primeros observatorios radioastronómicos de grandes dimensiones realizado inmediatamente después de la segunda guerra mundial. Está situado en Inglaterra, en las cercanías de Macclesfield en Cheshire, y depende de la Universidad de Manchester. El observatorio ha sido realizado por iniciativa de Sir Bernard LOVELL, un astrónomo que se halla entre los pioneros de la investigación radioastronómica. Al comienzo, el equipo del observatorio estaba compuesto de pequeñas antenas de radar recicladas por la tecnología de la guerra. En 1952 se comenzó la construcción de la gran antena parabólica de 76 metros de diámetro que fue, durante cerca de 20 años, la antena radiotelescópica orientable más grande (perdió su primado en 1971 ante la antena de 100 metros del radiotelescopio de Effelbesberg, en Alemania). Todo el equipo de recepción estuvo en condiciones de funcionar en 1957, a tiempo para seguir las señales del primer satélite artificial soviético, el Sputnik 1, que el 4 de octubre de aquel año inauguró la era de la exploración espacial. El observatorio de Jodrell Bank se ha dedicado con frecuencia al trazado de las señales emitidas por satélites y sondas espaciales; su función principal es, sin embargo, el estudio de las fuentes celestes y en particular la localización de los Púlsar, estrellas Flare y la medida de los diámetros de objetos extensos. En 1964 el equipo del laboratorio se vio incrementado con una antena elíptica cuyo eje mayor es de 38 metros y el menor de 25. Estas instalaciones son empleadas para observar en las longitudes de onda más cortas.

Júpiter. Es el planeta más grande del sistema solar; está en órbita a una distancia media de 5,2 UA del Sol (778,3 millones de km); realiza una revolución completa alrededor de éste en 11,86 años y una rotación completa alrededor de su propio eje en apenas 9,84 horas. Es uno de los más bellos objetos que pueden verse en una noche estrellada. Brilla con una tranquila luz anaranjada, es conocido desde la antigüedad y no por casualidad los griegos lo identificaron con Júpiter, el padre de los Dioses. Observado con un pequeño telescopio, ofrece el espectáculo de sus cuatro satélites mayores, Io, Europa, Ganimedes y Calisto, que giran alrededor de aquél haciendo que parezca un sistema solar en miniatura. Para GALILEO, que en 1610, después de haber construido el primer telescopio, descubrió estas cuatro lunas de Júpiter, se trató de un hecho muy importante, porque proporcionó una prueba para demostrar que la Tierra gira alrededor del Sol (teoría heliocéntrica). Según los rivales del científico, la Tierra no podría moverse en el espacio, ya que de otra manera dejaría atrás a la Luna. Júpiter con sus lunas constituyó la demostración de la falsedad de esas opiniones. Con un pequeño instrumento óptico,

pero un poco más potente que el construido por GALILEO, es posible discernir sobre la superficie visible del planeta una alternancia de bandas claras y oscuras, dispuestas paralelamente al ecuador. No se trata de elementos morfológicos fijos, como las montañas de la Tierra o los cráteres de la Luna, sino de nubes de estructura gaseosa en perenne movimiento y evolución. Estas son el resultado de la compleja dinámica que caracteriza al planeta. Es importante subrayar que cuando se habla de superficie de Júpiter, se hace referencia a sus nubes, a una móvil estructura atmosférica y no a una capa sólida, como en el caso de los planetas interiores. La superficie sólida de Júpiter, si existiera una, está literalmente sepultada por un océano de decenas de miles de kilómetros de fluidos, tanto en forma gaseosa como líquida. En el decenio de los 70 Júpiter ha sido el objetivo de dos excepcionales misiones interplanetarias americanas. Comenzó la pareja Pioneer 10 y 11, en 1973-74. Se trataba de robots automáticos, aún muy rudimentarios, que tomaron imágenes poco definidas del planeta, tanto a luz visible como al infrarrojo (radiación térmica). Sin embargo, esas primeras tomas de cerca representaron un gran paso adelante con respecto a las observaciones desde la Tierra, y revelaron muchas novedades sobre la estructura y composición del gigante del sistema solar. Pero la auténtica obra de arte en la investigación de cerca de Júpiter y de sus principales satélites ha sido realizada por los Voyager 1 y 2, en 1979. Esta vez se obtuvieron imágenes de elevada resolución y medidas de gran valor científico que aún son, y lo serán por muchos años, objeto de estudio. Aún no se ha agotado el examen de todos los nuevos datos obtenidos sobre el sistema jupiteriano, y he aquí que la NASA se apresta a una nueva y más precisa investigación con la sonda Galileo, así bautizada en honor al gran astrónomo. Pero examinemos, a la luz de los conocimientos más recientes, las principales características del planeta Júpiter. En una voz sucesiva (Júpiter, satélites) pasaremos revista a su enloquecido sistema de satélites y el delgado anillo descubierto en 1979 por el Voyager 1. La definición de gigante gaseoso dada a Júpiter puede entenderse mejor a través de estas cifras: diámetro 143.200 km (alrededor de 10 veces más que la Tierra); masa 318 veces mayor que la Tierra; volumen 1.317 veces superior al de la Tierra. Conociendo masa y volumen, se puede determinar fácilmente la densidad media que, en este caso, es de apenas 1,3 con respecto a la del agua. Este resultado nos dice que Júpiter está formado por elementos livianos y, en efecto, los análisis a distancia han establecido que el elemento más abundante del planeta es el hidrógeno (88 %), seguido del helio (11 %) y de otros componentes menores como el nitrógeno, el carbono y el azufre. Todos estos elementos menores, combinándose con el abundante hidrógeno, forman las capas visibles de nubes a base de metano, amoníaco y agua, así como también de hidrógeno sulfurado. ¿Por qué Júpiter es tan diferente de los planetas próximos a la Tierra, que se caracterizan por una gran masa sólida y una fina envoltura gaseosa? La respuesta se halla en los procesos de formación del Sistema solar. En efecto, los planetas más alejados del Sol, llamados también exteriores o jupiterianos por su afinidad con Júpiter, pudieron agrandarse utilizando en enormes cantidades los elementos más volátiles existentes en los bordes de la nebulosa primordial. Sus grandes masas, además, hicieron que estos elementos no se diluyeran en el espacio como sucedió con los planetas de tipo terrestre. En otros términos, las relaciones de abundancia de los elementos presentes en Júpiter reflejan bastante fielmente los existentes en la nebulosa primordial en los tiempos de la formación de los planetas, así como los existentes en el Sol. Y, a este propósito, es

preciso subrayar que si Júpiter hubiera alcanzado una masa una decena de veces superior a la que tiene, a causa de los procesos de contracción gravitacional, en su núcleo se habrían llegado a presiones y temperaturas tales como para desatar las reacciones de fusión termonuclear que se producen en el Sol. Resumiendo, Júpiter se habría encendido como una estrella y nuestro sistema, como tantos otros en el espacio, tendría dos Soles. Que se haya estado cerca a este resultado lo demuestra el hecho de que Júpiter es el único planeta que irradia más energía (algo más del doble) de la que recibe del Sol: signo de que hay una fuente de calor interno debida a los procesos residuales de contracción. Es precisamente el calor interno de Júpiter el que dirige la compleja dinámica de su atmósfera, o bien los movimientos de la inmensa esfera de gas de la que está constituido el planeta. Como resultado de movimientos convectivos, muy similares a los que pueden encontrarse en una olla calentada por un fuego, en Júpiter hay fluidos que absorben calor de las profundidades, suben y ceden el calor al exterior y por lo tanto vuelven a descender. Así se crean bandas claras (amarillentas o blancas) paralelas al ecuador, que son regiones de ascenso de las masas gaseosas y que son definidas zonas, y bandas oscuras (marrones o grisáceas) también paralelas al ecuador, que son regiones en las que las masas de aire descienden y son definidas en lenguaje astronómico bandas. Observadas al infrarrojo, las zonas aparecen más frías (porque ceden el calor al espacio exterior) que las bandas. Este esquema de circulación, asociado a la rápida rotación del planeta alrededor de su propio eje, determina esa estupenda alternancia de líneas tenuemente coloreadas que cualquier persona, que disponga de un telescopio de por lo menos 20 cm de diámetro, puede observar. Pero no es todo. Superpuestas a estas estructuras, se notan manchas redondas y ovaladas tanto claras como oscuras, la mayor parte de las cuales es de efímera duración. Una de ellas en cambio, la Gran Mancha Roja (también visible con un instrumento de 20 cm) persiste desde hace siglos y se piensa que sea el equivalente de un ciclón terrestre, un vórtice que transporta masas de gas desde las zonas subyacentes a los niveles más altos de la atmósfera jupiteriana. Observada a los infrarrojos, la Gran Mancha Roja parece una región fría. Sólo las observaciones de cerca de los dos Voyager han podido revelar lo complejos y maravillosos que son los sistemas de circulación secundarios, que se establecen por el contacto entre zonas y bandas, o entre las manchas y las regiones que las rodean; complejidad y maravilla que son exaltadas por la estupenda gama de colores (amarillo, ocre, azul, turquesa, etc.) que se crea por efecto de la mezcla del hidrógeno con los otros gases. Basta mirar atentamente las fotos de las dos sondas americanas para darse cuenta. La exploración de cerca ha permitido también trazar una curva del gradiente térmico de la atmósfera jupiteriana, es decir de la variación de temperatura con la profundidad. El nivel más exterior y visible de las nubes es de aproximadamente -170 °C. Descendiendo de altura, la temperatura aumenta al ritmo de alrededor de 2 °C por km. Por lo tanto, basta llegar a 100 km por debajo de la capa visible de las nubes para encontrar una temperatura de tipo terrestre. Aquí, sin embargo, la presión es aproximadamente cinco veces superior con respecto a la que tenemos en la Tierra a nivel del mar. Lo que hay debajo de la capa visible de nubes puede ser, por ahora, sólo objeto de hipótesis. Siguiendo algunos modelos de la estructura interna de Júpiter, con el aumento de la presión de sucesión de nubes formada por hidrógeno y sus combinaciones con otros elementos daría lugar a un océano de hidrógeno líquido metálico, un estado físico particular que convierte a este elemento en un perfecto

conductor de electricidad. Por consiguiente sería el hidrógeno metálico, en lo relativo a la rotación del planeta, el responsable del campo magnético registrado alrededor de Júpiter, tan intenso como para superar en unas 4.000 veces el terrestre. Aún más abajo de la cubierta de hidrógeno líquido metálico, podría haber un núcleo rocoso de pequeñas dimensiones, pero el problema aún resulta algo controvertido.

Júpiter (satélites). El mayor planeta del sistema solar, Júpiter, está acompañado por un abundante séquito de satélites y por un tenue y delgado anillo. Es tal la variedad de los mundos que están en órbita alrededor de Júpiter, algunos de los cuales de dimensiones decididamente planetarias, como para merecer una descripción extremadamente pormenorizada. El mérito de haber hecho la luz sobre los cuerpos alrededor del gigante gaseoso corresponde, una vez más, a las sondas interplanetarias americanas, en particular a los dos Voyager que han transmitido imágenes desde su proximidad del sistema jupiteriano. Antes de estas exploraciones se consideraba que Júpiter estaba rodeado por 13 satélites. Después, el número total ha subido a 16 (número que parece destinado a aumentar con la futura misión Galileo) y también se ha descubierto un solitario anillo. De las lunas de Júpiter, sólo las cuatro más grandes y cercanas, los llamados satélites galileanos, Io, Europa, Ganímedes y Calisto, parecen estar formados por el mismo fragmento de nebulosa protoplanetaria de la cual saldría el planeta mayor. Ellos, en efecto, recorren órbitas casi circulares, yacentes sobre el plano ecuatorial del planeta y muestran una densidad decreciente desde el más interior hacia el más exterior: un poco como los planetas con respecto al Sol (la comparación no debe asombrar: se ha dicho que Júpiter es una estrella fracasada y que, en pequeño, muestra las características de un sistema solar en miniatura). Las otras lunas de Júpiter, por contraste, tienen órbitas excéntricas, con planos variadamente inclinados, en algún caso están animados por movimiento retrógrado (recordemos que el sentido de marcha habitual de los cuerpos del sistema solar es el directo o antihorario) y, por último, presentan dimensiones del orden de algunas decenas de km. En conclusión, se piensa que este segundo tipo de satélites sea el resultado de una captura de cuerpos celestes como asteroides o cometas por parte del planeta. Algunos de los satélites muestran, además, interesantes interacciones con el anillo y con el potente campo magnético existente alrededor del planeta. Pero, procedamos a una sucinta información de los vecinos de Júpiter a partir de los más cercanos al planeta. 1979 J1, 1979 J3 y el anillo. He aquí tres cuerpos del sistema jupiteriano que se presentan conjuntamente. El anillo lo encontramos tan sólo a 124.000-128.000 km. Es delgado y estrecho y formado por partículas microscópicas comparables a las del humo de un cigarrillo. No tiene nada que ver con el anillo de Saturno, que es mucho más ancho y grueso y muestra una multiplicidad de divisiones y gran variedad entre las partículas que lo componen. El fino polvo del que está formado el anillo jupiteriano parece caracterizado, por el contrario, por una notable homogeneidad de estructura y composición. El polvo del anillo no es estático, pero escapa hacia el planeta recorriendo una trayectoria en espiral. Se ha pensado, por lo tanto, que debe existir una fuente que alimenta continuamente el flujo de polvo del anillo, y ésta parece estar representada por una pequeña luna de unos 40 km de diámetro descubierta por el Voyager y bautizada con la sigla 1979 J3. Esta luna se encuentra precisamente en el centro del anillo. Otra minúscula luna descubierta por el Voyager, 1979 J1, de dimensiones comparables a las de J3,

órbita exactamente en correspondencia con el borde exterior del anillo y a su efecto gravitacional sobre las partículas de polvo se le atribuye la extensión del propio anillo. Antes de su descubrimiento por parte del Voyager, estudios teóricos habían indicado la posibilidad de que Júpiter estuviera provisto de una estructura similar, pero ha sido imposible obtener la confirmación con los telescopios terrestres a causa de su escasa consistencia. Amaltea. Descubierta por el astrónomo E. E. BARNARD en 1892, esta luna está en órbita a 181.000 km de Júpiter, realizando una vuelta completa alrededor suyo en, aproximadamente, 12 horas. Tiene una forma oblonga que recuerda la de una patata con picaduras de viruela y sus dimensiones son de 270 x 170 x 150 km, con el eje mayor constantemente dirigido hacia el planeta. La superficie de este satélite aparece rojiza, probablemente a causa de los sulfuros arrojados al espacio por las erupciones del cercano Io, que son interceptados en parte por este satélite. 1979 J2. Este es otro de los tres pequeños satélites descubiertos por los dos Voyager en el curso de su exploración del sistema jupiteriano. Tiene un diámetro mayor que el de los dos ya citados, unos 75 km, está en órbita a 223.000 km de Júpiter y por lo tanto situado a mitad de camino entre Amaltea e Io. Poco se sabe de sus características, porque las dos sondas americanas le pasaron relativamente lejos. Sin embargo, análogamente a Amaltea, J2 tendría una superficie rojiza a causa de la lluvia de sulfuros provenientes de los volcanes de Io. Io. Es el más interior de los cuatro satélites galileanos, fácilmente visible desde la Tierra incluso con un pequeño telescopio. Tiene un diámetro de 3.640 km (levemente más grande que el lunar), una densidad de 3,04 g/cm³, y gira a 422.000 km de su planeta realizando una órbita completa en 1,8 días. Se trata de un cuerpo celeste peculiar como ya se observó en 1965, cuando al estudiar las emisiones de radio de Júpiter asociadas con el campo magnético de este planeta se demostró que, en su movimiento orbital, Io actuaba como un generador de corriente eléctrica. Sin embargo, las cercanas observaciones de los Voyager, además de confirmar este fenómeno (se calcula que la corriente generada por Io se eleve a millones de amperios), han revelado la extraordinaria actividad volcánica de esta luna. Se han fotografiado decenas de volcanes activos, algunos de los cuales elevan sus penachos hasta 300 km de altura sobre la superficie del planeta. Toda la roja superficie de Io aparece marcada por bocas en plena actividad efusiva o explosiva. El secreto de esta actividad, en un mundo tan pequeño que no debería desarrollar un calor radioactivo tal como para desatar los fenómenos volcánicos observados, sino que residiría en una especie de fricción entre las masas internas, generada por las mareas gravitacionales a las que está sometido el satélite en su aproximación y alejamiento de Júpiter (recordemos que la órbita de Io es relativamente excéntrica). En lo relativo a las hipótesis sobre su estructura y composición química, se considera que la costra está hecha de una mezcla de silicatos y de sulfuros: en efecto, estas son las sustancias que se encuentran en las erupciones. Europa. Otro mundo de dimensiones lunares, para ser más precisos un poco más pequeño, ya que su diámetro es de 3.130 km y que se encuentra inmediatamente después de Io, a 671.000 km de Júpiter. Otro mundo singular que no muestra cráteres en su lisa superficie amarillenta, sino solamente un reticulado de extrañas estrías. La superficie de Europa aparece íntegramente recubierta por una capa de agua congelada y las estrías, que tienen un ancho de 20-40 km y una longitud de miles de kilómetros, podrían deberse a un episodio de expansión global del satélite que provocó una serie de fracturas sobre la costra de hielo. Tiene una densidad de

3,04 g/cm³. Ganímedes. Es el satélite más grande de Júpiter y, probablemente, el más grande del sistema solar (el primado se le concede a Titán, satélite de Saturno del que aún no se conocen sus dimensiones exactas). Tiene un diámetro de 5.280 km (más grande que el planeta Mercurio), una densidad de 1,93 g/cm³ y dista de Júpiter 1.071.000 km. También aquí la superficie está caracterizada por hielos y polvos meteóricos, pero presenta una mayor variedad de estructuras con respecto a Europa. Existen regiones más oscuras recubiertas por cráteres y regiones más claras lisas. En las primeras aparecen también restos de formaciones concéntricas, que en una época debían rodear los cráteres de impacto más grandes; en las segundas se encuentran sistemas relativamente intrincados de finas fisuras. Se piensa que estas diferencias morfológicas se deben a procesos de expansión causados por el calor interior del planeta, que habría cubierto con coladas de hielo fundido algunas partes de la antigua costra del satélite. La radioactividad natural interior, según los expertos que han recopilado modelos de la geología de Ganímedes, debería producir un calor suficiente como para tener disuelta una mezcla de agua y silicatos que se encontraría bajo la costra helada, creando verdaderos océanos subterráneos de agua y lodo. Estos fluidos alimentarían, además, el sistema volcánico activo de Ganímedes, cuyas erupciones, por lo tanto, serían a base de compuestos acuosos. Calisto. He aquí otro mundo de dimensiones planetarias: su diámetro es de 4.890 km casi idéntico al de Mercurio. Calisto orbita a 1.882.600 km de Júpiter y emplea 16 días y 16 horas en completar su giro. Ha sido definido como el hermano menor de Ganímedes, porque son notables las semejanzas con su vecino más interno. En las investigaciones desde cerca ha mostrado una superficie helada, cuyas temperaturas no suben jamás por encima de -130 °C, marcada por cráteres poco prominentes y caracterizada por grandes huecos de impacto con un cráter central y un amplio sistema de ondas concéntricas a su alrededor: testimonio evidente de la caída de grandes asteroides en una época que se hace remontar a 4.500 millones de años, cuando se formaron los planetas. El más grande de estos huecos tiene un diámetro de 3.000 km (el cráter central es de 300 km) y ha sido llamado Valhalla. La baja densidad media de Calisto (1,81 g/cm³) hace pensar que el satélite está formado por un núcleo rocoso silicático envuelto por una mezcla de agua congelada y polvos. Su superficie es más oscura de lo que se esperaría si sólo fuera una costra de agua congelada y, probablemente, está recubierta por una fina capa de polvo meteórico oscuro que, al analizarlo, parece tener la misma composición de los cóndritos carboníferos. Con Calisto, el más exterior de los cuatro satélites galileanos, se agota, según las actuales informaciones, la serie de los pequeños mundos nacidos al mismo tiempo que Júpiter y comienza la sucesión de los minúsculos satélites-asteroides captados por el planeta. Ninguno de los dos Voyager ha explorado de cerca estas masas rocosas y por lo tanto poco se sabe de su naturaleza y composición, salvo lo que se ha podido inferir de la medida de densidad y del análisis espectroscópico. La tabla adjunta resume los datos físicos esenciales de todos estos mundos, de los cuales tendremos un conocimiento más preciso después de las fantásticas exploraciones proyectadas para los próximos años.

K

KANT, Emmanuel. 1724-1804 Filósofo alemán que nació y vivió en Königsberg, en la ex Prusia oriental. Conocido sobre todo por sus especulaciones metafísicas, KANT, que había recibido en la Universidad una buena formación científica, ha conseguido un puesto en la historia de la ciencia; tomando una idea de Descartes, elaboró una teoría sobre la génesis del sistema solar que después fue desarrollada por el matemático LAPLACE y que es denominada teoría Kant-Laplace. Se trata de una hipótesis nebular: una nebulosa en rotación, con el Sol en el centro, por sucesivas condensaciones habría formado los planetas. LAPLACE trató de precisar las modalidades de la formación de los planetas, imaginándoselos como originados por la contracción de anillos rotantes separados de la nebulosa por efecto de la fuerza centrífuga. La distribución actual del momento angular en el sistema solar -alto el de los planetas, bajo el del Sol- no está de acuerdo con una secuencia tal de acontecimientos, y a esta crítica la teoría de Kant-Laplace, como muchas otras, no se sostiene. Sin embargo, es importante observar que las hipótesis actuales sobre el origen del sistema solar toman la idea de partida de KANT, según la cual un solo conglomerado ha dado origen al Sol y a los planetas, sin interacciones con otros cuerpos (hipótesis monística).

Kapustin Yar. Polígono soviético situado al noroeste del mar Caspio, exactamente a 100 km de la ciudad de Volgogrado. Como otras muchas bases de lanzamiento, en principio este polígono estaba destinado exclusivamente fines militares y servía de base para los misiles intercontinentales dotados de cabeza nuclear; sucesivamente fue transformado en polígono para misiones espaciales. Su actividad comenzó inmediatamente después de la segunda guerra mundial, con el lanzamiento de cohetes V 2 modificados. El primer lanzamiento espacial desde Kapustin Yar se llevó a cabo en 1962 con la puesta en órbita del Cosmos 1. Este polígono especial es el tercero en importancia de la Unión Soviética después del de Baikonur y del de Plesetsk.

Kelvin. Es una escala de temperaturas deducida del segundo principio de la termodinámica y a la que normalmente se hace referencia en las ciencias astronómicas y espaciales. También es denominada escala de las temperaturas absolutas e indicada por el símbolo correspondiente. Su origen está en los -273 °C, a la cual se refieren los termómetros de uso común. Para pasar de grados centígrados a Kelvin, y viceversa, basta aplicar unas simples reglas. La escala toma el nombre de sir William Thomson Kelvin, físico inglés (1824-1907) autor de estudios sobre termodinámica y electricidad.

Kennedy (centro espacial). Nombre de un complejo de edificios y laboratorio que se encuentran en la base espacial de Cabo Cañaveral, en Florida, donde se preparan las misiones de la NASA. El cuartel general del centro espacial Kennedy se encuentra en Merrit Island, a pocos kilómetros del promontorio de Cabo Cañaveral. Aquí está también el gigantesco VAB (iniciales de Vehicle Assembly Building, es decir edificio para el ensamblaje de vehículos), en el inter-

ior del cual se han montado los cohetes Saturno que llevaron los primeros hombres a la Luna y que ahora está destinado al Space Shuttle. El centro espacial Kennedy no debe confundirse con la base entera de Cabo Cañaveral. Recordemos que, después de la muerte del presidente americano John F. Kennedy, toda la base fue rebautizada con su nombre. Sin embargo, más tarde el trámite fue revocado y la base espacial retomó su antigua denominación de Cabo Cañaveral, mientras el nombre de Kennedy se le dio sólo a los edificios y laboratorios del centro.

KEPLER, Johannes. 1571-1630 Gran astrónomo alemán que ha unido su nombre a las leyes que dirigen el movimiento de los planetas. KEPLER nació en un pueblo cerca de Stuttgart y llevó una vida infeliz, marcada por enfermedades físicas y desgracias familiares y personales de todo tipo, entre otras la de ver condenada por brujería a su madre, que a duras penas pudo salvarse de la hoguera. Cursó estudios universitarios de astronomía en Tübinga, donde tuvo de maestro al ferviente copernicano MAESTLIN, y rápidamente obtuvo un cargo de profesor de matemáticas en Graz, que también comportaba la obligación de recopilar horóscopos. Sobre la →*astrología*, en la que no creía pero que sin embargo muchas veces en el curso de su vida le ayudó a sobrevivir, dejó escrito con amargura: Los filósofos no deberían criticar tan duramente a la hija de la Astronomía, ya que es ella quien nutre a su madre. Después de algunos años de trabajo en Graz, KEPLER, víctima de la persecución religiosa contra los protestantes, perdió el puesto; aceptó entonces, en 1600, la invitación de Tycho BRAHE para trabajar con él en Praga, y a la muerte de este último, acaecida al año siguiente, le sucedió en el cargo de matemático de corte del emperador Rodolfo II. La primera obra de KEPLER es el *Mysterium Cosmographicum*, en la que el sistema copernicano es acogido por razones físicas y, si se quiere, metafísicas: en efecto, para él, que nunca estuvo libre de sugestiones místicas, el Sol, fijo en el centro del sistema, es considerado (#), este trabajo de 1596 impresionó favorablemente a TYCHO e incluso a GALILEO, a quien se lo había enviado. En 1604 aparece otra publicación en la cual entre otras cosas KEPLER explicaba el efecto de la refracción atmosférica sobre las observaciones astronómicas, discutía sobre los eclipses lunares y calculaba la frecuencia de los pasajes de Mercurio y de Venus sobre el disco del Sol. Su principal obra es sin embargo de 1609, la famosa *Astronomía Nova*. En ella KEPLER, que había tenido a disposición y estudiado los resultados del paciente trabajo de observación y mediciones de Tycho, hace notar que la diferencia de alrededor de ocho minutos de arco existente entre los datos recogidos sobre el movimiento de Marte y las previsiones de la teoría copernicana, se puede explicar suponiendo que los planetas recorran su propia órbita a una velocidad no constante. Nace así la ley de las áreas: Las áreas recorridas por el radio vector son proporcionales a los tiempos empleados en recorrerla, conocida ahora como ley de KEPLER. Sin embargo una velocidad no constante sólo puede admitirse si las órbitas no son circulares, y así nace la fórmula la que hoy se conoce como I ley: Los planetas recorren órbitas elípticas

donde el Sol ocupa uno de los focos. Es de gran interés el hecho de que en la introducción a la *Astronomía Nova* KEPLER muestre poseer el concepto de gravitación y esboza una teoría correcta sobre las mareas, aunque estas intuiciones prenewtonianas no estén reflejadas otra vez a lo largo de todo el libro. La III ley sobre el movimiento de los planetas dice: Los cuadrados de los tiempos de revolución son proporcionales a los cubos de los semiejes mayores de las órbitas. Esta ley se encuentra en otro trabajo, *Harmonices Mundi*, que fue publicado en Linz, donde tuvo que mudarse el autor después de la muerte del emperador Rodolfo, su protector. Tampoco en Linz estuvo mucho tiempo y la última obra importante fue impresa en Ulm: se trata de las *Tablas Rudolfinas*, que hasta mediados del siglo XVIII constituirán la referencia más exacta para determinar la posición de los planetas. KEPLER murió cuando aún no había llegado a los sesenta años en Ratisbona, durante un viaje emprendido para tratar de obtener ciertas cantidades de dinero que le debían. Su trabajo de gran teórico, aunque muy respetuoso de los datos logrados con la observación, contribuyó a imponer el modelo copernicano y puso en claro de manera genial el movimiento de los planetas, abriendo el camino a la síntesis de NEWTON.

Kepler (leyes de). Son tres leyes empíricas que Johannes KEPLER confeccionó a partir de las tablas astronómicas recopiladas por el más anciano colega Tycho BRAHE. Han tenido un valor fundamental en la reforma de la astronomía que se realizó entre los siglos XVII y XVIII, porque rompieron los antiguos esquemas del sistema del mundo, en el que los planetas se hacían girar en esferas cristalinas o bien en perfectas órbitas circulares. Las tres leyes se pueden resumir así: 1) Los planetas recorren órbitas elípticas, donde el Sol ocupa uno de los dos focos. 2) Las áreas recorridas por la recta Sol-planeta (radio vector) son proporcionales a los tiempos empleados en recorrerlas. 3) Los cuadrados de los tiempos de revolución son proporcionales a los cubos de los semiejes mayores de las órbitas. Con estas tres formulaciones el comportamiento real de los movimientos planetarios estaba finalmente aclarado. Corresponderá a NEWTON más tarde, con la ley de la Gravitación universal, encontrar la explicación física de tales movimientos y demostrarla analíticamente.

Kirkwood (lagunas de). Se indican con este nombre algunas zonas vacías del cinturón de los Asteroides. El primero en notar este fenómeno y proporcionar una explicación física fue el astrónomo americano Daniel KIRKWOOD (1814-1895). Los vacíos se deben al hecho de que los asteroides, que tienen un periodo orbital correspondiente a una fracción íntegra del de Júpiter, son alejados por éste de su órbita original. Cuando dos periodos orbitales están en la relación arriba indicada, se dicen también conmensurables (\rightarrow *Conmensurabilidad*). Los vacíos aparentes de los anillos de Saturno (también llamados divisiones) se deben a fenómenos de conmensurabilidad.

Kitt Peak (observatorio). Es el observatorio astronómico con mayor concentración de instrumentos existente en el mundo. Sólo considerando los grandes telescopios, hay 16 destinados a las más diversas funciones de observación. El observatorio está situado en las montañas de Quinlan, en Arizona, a 90 km al sudoeste de la ciudad de Tucson y a una altura de alrededor de 2.000 m sobre el nivel del mar. Fue fundado en 1960 y está dirigido por la AURA, Association of Universities for Research in Astronomy. El principal

instrumento de Kitt Peak es un reflector con un espejo de 4 m de diámetro; también está el telescopio solar más grande del mundo, que tiene un espejo principal de 1,5 m de diámetro y una distancia focal de 91 m, y otros instrumentos para el estudio de la astronomía infrarroja.

Kohoutek (cometa de). Nuevo cometa descubierto en marzo de 1973 y visible a simple vista a finales de diciembre del mismo año. Caracterizado por una órbita muy excéntrica, el cometa provenía probablemente de la nube de Oort: de aquella zona en la que parecen relegados miles de millones de núcleos cometarios. El astro fue descubierto por el astrónomo Lubos KOHOUTEK del observatorio de Hamburgo y alcanzó el perihelio (mínima distancia del Sol) el 28 de diciembre de 1973, pasando a sólo 21.000.000 km de nuestra estrella (alrededor de 1/3 de la distancia Sol-Mercurio). Precisamente a causa de este paso muy próximo se esperaba que el núcleo del cometa, estimado en unos 20 km de diámetro, desarrollara una enorme cola y que como consecuencia de ello el Kohoutek se convirtiera en el cometa más espectacular de nuestro siglo. Pero el fenómeno esperado no se produjo: el Kohoutek se hizo visible a simple vista, pero no fue más brillante que una estrellita de cuarta-quinta magnitud. El popular escritor y divulgador científico Isaac ASIMOV cuenta la desilusión que acompañó a este fenómeno, debido probablemente a que el núcleo cometario no era muy rico en elementos volátiles y, por lo tanto, no reaccionó como se esperaba al calor irradiado por el Sol. El astrónomo KOHOUTEK, el propio ASIMOV y otros apasionados habían organizado un crucero en el transatlántico «Queen Elizabeth II», en plena Navidad de 1973, para observar al cometa desde latitudes más propicias, pero el tiempo fue pésimo y, cuando las nubes se despejaron, apenas se pudo ver a simple vista. Mientras tanto, desde los observatorios astronómicos de medio mundo se llevaron a cabo importantes análisis de la estructura y composición del cometa. También los astronautas a bordo del laboratorio orbital Skylab pudieron observarlo y fotografiarlo en diferentes longitudes de onda y descubrir un inmenso halo de hidrógeno que le rodeaba.

KOMAROV, Vladimir Mikhailovic. 1927-1967 Astronauta soviético y primer hombre que perdió la vida durante una misión espacial. KOMAROV ya había volado en octubre de 1964 como comandante de la astronave Voskhod 1, Junto con Konstantin Feoktistov y Boris Yegorov. La misión duró un día completo y se concluyó con éxito, dando a los soviéticos la primacía del primer vuelo con tres hombres. El 23 de abril de 1967 KOMAROV volvió al espacio alrededor de la Tierra. Su función era la de experimentar una astronave de nueva concepción, la Soyuz 1. En este vuelo de prueba no había otros astronautas a bordo. Sin embargo, algunas horas después de la puesta en órbita, KOMAROV perdió el control de la nave que no respondía ni a los controles automáticos, ni a los manuales. De inmediato se decidió un retorno de emergencia que se produce al cumplir la decimotava órbita. Según las informaciones oficiales de la agencia de prensa soviética Tass, la fricción con la atmósfera se produce con normalidad, pero el paracaídas de la cápsula se enredó (como es sabido las naves espaciales soviéticas descienden en Tierra firme, al contrario de las americanas que amerizan). KOMAROV se estrelló contra el suelo en el interior de su cápsula.

KOROLEV, Sergei Pavlovic. 1907-1966 Pionero de los experimentos en misilística y astronáutica en la URSS y jefe de los programas espaciales de este país hasta la fecha

de su muerte. KOROLEV comenzó a ocuparse activamente de misiles y del espacio a comienzos de los años treinta; estuvo entre los fundadores en Moscú de un grupo de estudio para el motor a chorro. Algunos años más tarde esta organización se unió con otra de Leningrado y dio vida al Instituto de Investigaciones para la Ciencia Misilística, en el ámbito del cual se proyectaron y experimentaron los primeros cohetes transportadores soviéticos. Víctima de las depuraciones estalinistas en 1938, KOROLEV fue rehabilitado después de la segunda guerra mundial y pudo reiniciar sus estudios, que recibieron la tecnología de las V 2 alemanas. Algunas versiones modificadas de estos misiles realizados en Alemania por Werner VON BRAUN, que los soviéticos habían obtenido como botín de guerra durante la ocupación, fueron lanzadas bajo la dirección de KOROLEV desde el polígono Kapustin Yary con ellos se realizaron los primeros cohetes sonda de gran altura y los primeros vuelos con animales a bordo. Más tarde KOROLEV desarrolló el primer misil soviético intercontinental y, hacia mediados de los sesenta, a partir de estos, el propio KOROLEV diseñó los transportadores espaciales conocidos con la sigla A y el número 1 como subíndice, que fueron empleados para el lanzamiento de los primeros satélites artificiales soviéticos. También se le debe a KOROLEV la dirección de los proyectos que llevaron a la realización de las cosmonaves Vostok, Voskhod y Soyuz.

Kourou. Es el polígono de lanzamiento de la ESA (European Space Agency), desde el cual habitualmente se efectúan los vuelos del transportador Anane. Se encuentra en la Guyana francesa, sobre las costas del Atlántico, 18 km al Oeste de la ciudad de Kourou de la que toma el nombre. Las plataformas de lanzamiento están dispuestas a lo largo del camino que corre paralelo a la costa atlántica; las operaciones de control son efectuadas por técnicos de un centro de control que se encuentra bajo tierra. El polígono, que está situado a unos 5° de latitud Norte, se encuentra en una posición geográfica ventajosa desde el punto de vista balístico: los cohetes que parten reciben un empuje suplementario gratuito debido a la mayor fuerza centrífuga que se manifiesta, por efecto de la rotación terrestre, en las latitudes ecuatoriales.

Kuiper, Gerald Peter. 1905-1973 Astrónomo alemán naturalizado en América conocido por su teoría sobre el origen del sistema solar y por numerosos descubrimientos en el campo planetario. A sus estudios se deben las hipótesis llamadas monísticas sobre el origen del sistema planetario, que han sido retomadas después de un largo periodo de abandono. Según Kuiper, los planetas se formaron de una nube de gas y polvo que se estaban contrayendo alrededor del Sol. Pensaba que nuestro Sol, como muchas otras estrellas, había de convertirse en una estrella doble, cuya segunda componente debería estar representada por Júpiter, pero este proceso no se completó debido a la escasa masa disponible. Notables son los descubrimientos al telescopio efectuados por Kuiper: en 1944 Titán, el gran satélite de Saturno; en 1948 la tenue atmósfera de Marte y la quinta luna de Urano, Miranda; en 1949 la segunda luna de Neptuno, llamada Nereida; en 1950 la determinación del diámetro de Plutón. A comienzos de los años sesenta Kuiper fundó y dirigió el laboratorio lunar y planetario de la Universidad de Arizona. Para honrar su memoria, un cráter grande y accidentado de la superficie de Mercurio lleva el nombre del ilustre científico germano-americano.



LAGRANGE, Joseph Louis. 1736-1813 Matemático y astrónomo de origen francés nacido en Turín y allí nombrado profesor de la Academia cuando sólo tenía dieciocho años. Realizó estudios de dinámica de los cuerpos del sistema solar, estudiando en particular los movimientos de la Luna y de los satélites de Júpiter. En 1759 fue llamado a Berlín para ocupar el cargo que había dejado vacante el gran matemático EULER: allí permaneció alrededor de veinte años, hasta que fue llamado por Luis XVI a Francia donde permaneció hasta el final de sus días. Entre los descubrimientos de LAGRANGE es notable el de los llamados puntos de libración de un cuerpo celeste, que tienen importantes aplicaciones astronómicas.

Laika. Nombre de la ahora ya legendaria perra soviética que fue el primer ser vivo en orbitar en el espacio alrededor de la Tierra. El lanzamiento del animal se lleva cabo el 3 de noviembre de 1957. Laika fue acomodada en el interior de un recipiente cilíndrico del satélite Sputnik 2 (el segundo satélite artificial lanzado por la Unión Soviética), que pesaba 508 kg. La perra vivió diez días en órbita terrestre demostrando por primera vez que un organismo evolucionado puede sobrevivir en el espacio. Sin embargo, como lo soviéticos aún no habían perfeccionado los mecanismos de recuperación de cuerpos artificiales, una vez finalizado este periodo el Sputnik entró en la atmósfera terrestre como un meteoro y se desintegró entre las protestas de muchos organismos de protección de animales. Mejor suerte tuvieron, en agosto de 1960, las dos perras Belka y Strelka, puestas en órbita a bordo del Sputnik 5 (en realidad se trataba de un prototipo de la astronave Vostok) y recuperadas vivas al día siguiente, después de haber realizado 18 órbitas alrededor de la Tierra.

Landsat. Serie de satélites americanos para el estudio de los recursos terrestres realizados por la NASA y transformados en partes vitales de una vasta red de adquisición de datos, que está en condiciones de ser utilizada por todos los países del mundo. Los Landsat (de land = tierra y sat = satélite) se llamaban inicialmente con la sigla ERTS (Earth Resources Technology Satellites) y provenían, tanto conceptual como estructuralmente, de los satélites para fines meteorológicos Nimbus. Se trata de pequeños laboratorios que giran en órbitas polares (es decir, pasan de polo a polo cortando el Ecuador con una inclinación de 90°) a una altura de alrededor de 900 km. Están dotados de telecámaras que proporcionan imágenes en colores de gran resolución y de un sistema de sensores de diversa longitud de onda, llamados MSS (multi spectral scanner), con el cual es posible poner en evidencia detalles de otra manera invisibles de la superficie terrestre. Gracias a estos dispositivos los expertos pueden disponer de imágenes que, tratadas adecuadamente, permiten determinar y seguir fenómenos como la contaminación de las tierras, de las aguas y del aire, la deforestación, el enriquecimiento o la pauperización de la fauna marina, el crecimiento de los cultivos, las erupciones volcánicas, el corrimiento de fallas superficiales, etc. Con el fin de recoger, tratar y archivar los preciosos datos del Landsat, se han distribuido unas trece estaciones regionales dotadas de antenas especiales y centros de elaboración de datos. La Agencia Espacial Europea (ESA), para disponer de los

datos del Landsat" y distribuirlos a todos sus países miembros, ha creado una red a este propósito denominada Earthnet. La estación de escucha de esta red se encuentra en Fucino (Italia) y el centro de elaboración de datos está situado en la sede de la ESA en Frascati (Italia). Los primeros tres Landsat fueron lanzados respectivamente en 1972, 1975 y 1978. El Landsat 4, lanzado en 1982, es un vehículo de nueva generación con respecto a los precedentes, estando dotado de un sistema de sensores mucho más preciso, llamado Thematic Mapper, (cartógrafo temático), que permite determinar áreas de interés ambiental, agrícola, geológica e industrial con una definición de detalles mucho mayor que en el pasado.

Langley (centro de investigaciones). Centro para investigaciones tecnológicas en el ámbito de la aeronáutica y la astronáutica que se levanta en Hampton, Virginia. Fundado en 1917 en honor del pionero de la aeronáutica americana Samuel Pierpoint LANGLEY (1843-1906), el centro se ocupó del diseño y pruebas de planeadores, desarrollando en el transcurso de los años cincuenta la tecnología necesaria para la realización de los aviones a reacción que vuelan a gran altura. En 1958, hombres y equipos del Langley confluyeron en la recién constituida NASA, proporcionando a la agencia espacial americana expertos de alto nivel. Las astronaves Mercury, Géminis y Apolo fueron diseñados en el centro de Langley; así como también simuladores de vuelo espacial, indispensables para la realización en el espacio de delicadas operaciones como el Rendez-vous y el Docking, o como el descenso lunar. En el centro de investigaciones de Langley se han construido inmensos túneles de viento para el estudio aerodinámico de las naves espaciales que deben afrontar la entrada en la atmósfera. Otro programa importante que ha sido supervisado por el centro de Langley es la exploración automática del planeta Marte por medio de las sondas Viking. Una sección del centro Langley se dedica al estudio de las condiciones de la alta atmósfera. A este propósito se realizan análisis dirigidos por medio de aviones U 2 en vuelo y, en colaboración con otros centros de investigación, se estudian las condiciones de la estratosfera en las ocasiones de potentes erupciones volcánicas, como la del Monte Sant Helen (estado de Washington) de 1980 o la del volcán Chinconal (México) de 1982, las cuales tienen la fuerza de arrojar algunos kilómetros cúbicos de gases y polvos hasta alturas de 20-25 km, alterando los procesos meteorológicos normales, así como la cantidad de calor solar absorbido por la Tierra y retransmitido por irradiación al espacio exterior.

Lanzamiento. En lenguaje astronáutico por lanzamiento se entiende esa serie de operaciones necesarias para llevar un misil de una posición estática a una de vuelo dinámico. El instante exacto en que el misil se eleva de la rampa es indicado con el término lift-off, que sólo es empleado en caso de ascensión vertical. En cambio en el caso de ascensión con un cierto ángulo, se utiliza el término take-off (en línea de máxima, la orientación preponderante da preferencia al lift-off con respecto al take-off). Las operaciones de lanzamiento constituyen uno de los momentos más delicados de una misión espacial, pero también uno de los más espectaculares y emocionantes.

LAPLACE, Pierre Simon de. 1749-1827 Matemático y astrónomo francés cuyo nombre permanece unido a la llamada teoría nebular del origen del sistema solar. Formulada algunos años antes por el filósofo alemán Emmanuel KANT (1724-1804), que a su vez la había tomado de una idea de Descartes, la teoría hace nacer a nuestro sistema solar de una nube de polvo en rotación y en fase de contracción. En el centro se habría formado el Sol; en la periferia, por la contracción de sucesivos anillos rotantes, los planetas. La teoría, así formulada, no se sostuvo ante las objeciones de los físicos del siglo siguiente, quienes demostraron que este tipo de dinámica no habría podido justificar las distribuciones actuales del momento angular del Sol y de los planetas. Sin embargo ha sido retomada, aunque de manera corregida y reformada, en nuestros tiempos y hoy constituye la teoría más acreditada sobre la génesis de nuestro sistema solar. Además de estos estudios, que LAPLACE recogió en su volumen *Exposición del sistema del mundo* (1796), el astrónomo se dedicó a los estudios de mecánica celeste y, junto con LAGRANGE, fue la mayor autoridad de su siglo. Sobre esta materia en particular escribió una gran obra en cinco volúmenes *Tratado de mecánica celeste*, publicado entre 1799 y 1825.

Las Campanas (observatorio de). Es un observatorio astronómico americano fuera de EE.UU. Un fenómeno este que se ha ido multiplicando en los últimos años, porque los astrónomos están a la caza de posiciones terrestres más adecuadas para sus estudios y no siempre logran encontrarlas en el territorio nacional. Nacen así, como consecuencia de acuerdos especiales, observatorios instalados en territorio extranjero. Por lo general estos se encuentran en altiplanos situados en bajas latitudes, donde el cielo es muy sereno durante un gran número de noches todos los años. El observatorio de Las Campanas pertenece al grupo de los Hale Observatories (el mismo del que forma parte Monte Palomar) y se encuentra en una montaña de los Andes chilenos llamada Cerro Las Campanas, a unos 200 km al nordeste de la ciudad de La Serena. Se levanta a 2.280 m de altura y su principal instrumento está constituido por un reflector de 2,5 m. No lejos de él se halla el otro gran observatorio americano en Chile, el de Cerro Tololo, y el europeo de Cerro La Silla, conocido como el observatorio ESO.

Láser. Nombre de un instrumento derivado de las palabras Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (amplificación de la luz por medio de emisión estimulada de radiaciones). Inventado en 1960, consiste en un tubo conteniendo un gas o un cristal cuyos átomos, excitados, emiten un haz de luz monocromática y coherente que tiene la característica de no dispersarse, sino de mantenerse bastante concentrado incluso después de recorridos centenares de kilómetros. El láser ha encontrado infinidad de aplicaciones que van desde la medicina a la industria pesada; en astronomía y en astronáutica ha sido empleado en particular para resolver problemas de medidas precisas distancias. Por ejemplo, en el curso de las misiones Apolo, los astronautas colocaron algunos espejos reflectores en la superficie lunar y ahora son aprovechados por los astrónomos para hacer reflejar rayos enviados desde tierra, de manera que del tiempo empleado entre un envío y un retorno del rayo, conocida la velocidad de la luz se puede calcular con una exactitud jamás alcanzada antes la distancia de la Luna en los diversos puntos de la órbita y estudiar los complejos movimientos de nuestro satélite natural.

Lassel, William. 1799-1880 Astrónomo inglés a quien se debe el descubrimiento de dos satélites de Urano y uno de Neptuno. Hábil constructor de instrumentos ópticos, Lassel realizó en 1846 un reflector, dotado de un espejo metálico de 60 cm, con el cual descubrió Tritón, el mayor satélite de Neptuno. En 1851 descubrió dos pequeños satélites de Urano, llamados Ariel y Umbriel. En 1860 construyó un telescopio reflector de 120 cm (uno de los instrumentos más grandes de su época), que instaló en la isla de Malta y con el cual se dedicó a la clasificación de centenares de nebulosas.

Leavitt, Henrietta Swan. 1868-1921 Esta americana fue de las primeras mujeres que se dedicó con éxito al estudio de la astronomía. A Leavitt se debe, en efecto, el descubrimiento de la correlación entre luminosidad y periodo de variabilidad que existe en esas especiales estrellas variables llamadas Cefeidas. Este descubrimiento permitió calcular con buena aproximación la distancia de la fuente estelar. Esta adquisición fundamental de Leavitt, publicada alrededor de 1912, fue empleada por el astrónomo Harlow SHAPLEY para determinar la forma de nuestra Galaxia. Leavitt fue una observadora sistemática y descubrió en el curso de los años unas 2.400 estrellas variables.

LEM. Abreviatura de Lunar Excursion Module, el módulo de excursión lunar a bordo del cual los astronautas americanos descendieron varias veces en la Luna. Con la característica forma de una araña de cuatro patas, una altura de unos 7 m y dotado de una cabina en la que cabían dos de los tres astronautas destinados a descender sobre el suelo lunar, el LEM estaba dotado de un sistema de retro-cohetes que lo hacía apoyarse suavemente sobre nuestro satélite. El vehículo cumplió con éxito la función para la cual había sido diseñado y realizó tres descensos perfectos sobre la Luna. Para una descripción del LEM y de la astronave Apolo, de la cual formaba parte, así como de las misiones desarrolladas en el ámbito de todo el programa americano de exploración lunar.

Lemaitre, Georges. 1894-1966 Astrónomo belga a quien se debe la formulación *ante litteram*, de la que es indicada como la teoría cosmológica del Big-Bang. La idea se le ocurrió alrededor de los años veinte, cuando tuvo conocimiento de la obra de su colega Edwin HUBBLE que demostraba que el Universo estaba en expansión. A partir de esto, Lemaitre elaboró la hipótesis de que toda la materia del Universo en el momento del origen estaba concentrada en un átomo primordial, cuya explosión habría determinado el comienzo de la expansión y la creación de la materia. Más tarde la idea sería tomada por el físico George Gamow y se afirmaría como el modelo estándar de formación del Universo.

Lente. Es un dispositivo óptico que tiene la función de hacer converger o diverger los rayos de luz que lo atraviesan. En el primer caso se dice que la lente es positiva; en el segundo, negativa. Ejemplo clásico de lente positiva es una lente de aumento empleada en las gafas para miopes. En los telescopios astronómicos llamados refractores el objetivo está formado por una lente (o un sistema de lentes) de tipo positivo, ya que forma una imagen de los objetos invertida y más pequeña. Es función entonces del ocular ampliarla. Las características fundamentales de una lente son la distancia focal, es decir, la que va del centro óptico de la lente al punto en el que se forma la imagen de un objeto situado en

el infinito, y el diámetro o apertura de la lente. Cuanto mayor es la distancia focal, mayores son las dimensiones del objeto que se forma en el plano focal. La apertura, en cambio, no influye en las dimensiones del objeto, aunque sí sobre la cantidad de luz que recoge la lente.

Leónidas. Es una lluvia anual de estrellas fugaces que surge en el cielo entre el 14 y el 20 de noviembre, con un máximo de frecuencia el 17, y que parecen irradiarse desde un punto del cielo situado cerca de la estrella Leonis, de donde viene el nombre de Leónidas. Las Leónidas son conocidas desde la antigüedad, y existen crónicas de hace muchísimos años que hacen referencia a lluvias muy intensas, caracterizadas por la aparición de miles de meteoros cada hora. Las más espectaculares se produjeron en 1799, 1831, 1866, 1899 y, mucho más recientemente, la mañana del 17 de noviembre de 1966, cuando millones de desprevenidos espectadores americanos asistieron durante casi media hora a la aparición de unos 50.000 meteoros: unos verdaderos fuegos de artificio celestes. Ya en 1833 dos astrónomos americanos, Denison Olmsted y Alexander C. Twining, habían formulado la hipótesis de que el fenómeno era producido por miríadas de partículas (micrometeoros) que se movían como un enjambre en órbita alrededor del Sol, y que cruzando la órbita de la Tierra se desintegran en la atmósfera. Fue mérito del astrónomo Virginio SCHIAPARELLI, más conocido por sus estudios sobre Marte, el haber indicado que existe una estrecha relación entre algunos de estos enjambres anuales y los cometas periódicos. SCHIAPARELLI demostró que las Perseidas (se trata de otra lluvia anual de estrellas fugaces) están generadas por la disgregación del cometa Swift Tuttle, mientras las Leónidas lo son por la desintegración del cometa Temple-Tuttle. La menor o mayor espectacularidad de la lluvia de estrellas fugaces depende de que, en determinados años, la Tierra se cruza con partes más o menos consistentes del enjambre. Los astrónomos prevén que otra lluvia espectacular de Leónidas debería producirse el 18 de noviembre de 1999.

LEONOV, Aleksei. Astronauta soviético, nacido en 1934, famoso por haber realizado el primer paseo en el espacio y por haber comandado la tripulación de la primera empresa de colaboración espacial soviético-americana Apollo-Soyuz. La espectacular salida de LEONOV al ambiente hostil del vacío extra-atmosférico se produjo el 18 de marzo de 1965, durante el vuelo de la cosmonave Voskhod 2, en la cual se encontraba, además de LEONOV, el cosmonauta Pavel Belyaev. La nave, que partió del polígono de Baikonur el mismo 18 de marzo, entró normalmente en órbita y había realizado tres vueltas alrededor de la Tierra, cuando se anunció que LEONOV había salido al espacio. La Voskhod había sido modificada especialmente para esta empresa. En correspondencia con una portezuela lateral se encontraba una cámara de descompresión extensible con fuelle, que antes de la salida de LEONOV había sido extendida. El cosmonauta pasó de la cabina de mando a esta cámara de descompresión, en la que se puso un traje especial antirradiaciones y una mochila con los tubos de oxígeno. Después del necesario periodo de adaptación, la portezuela se abrió y LEONOV, por primera vez en la historia de la astronáutica, se hallaba en el espacio sujeto a la nave por un cordón umbilical. Toda la operación era seguida desde Tierra por medio de una telecámara fijada en el exterior de la Voskhod. LEONOV realizó algunos simples movimientos volando en el vacío y demostró que el hombre podía trabajar en el espacio, sin la protección de la cabina. Se tuvo una nueva dimensión de muchos peligros que en los años anteriores parecían constituir

una barrera infranqueable para la realización de la actividad extra-vehicular: las radiaciones penetrantes, los micrometeoritos y las tremendas variaciones de temperatura existentes en el espacio entre las zonas expuestas al Sol, que alcanzaban los 200 grados, y las en sombra, que permanecían a -200 grados. Se demostró que un traje oportunamente climatizado y resistente podía anular los efectos letales de estos peligros. LEONOV permaneció en el espacio solamente diez minutos, mientras Belyaev estaba en los controles de la astronave. En este corto tiempo el astronauta se ganó también el primado del paseo más largo jamás efectuado por un hombre: los apasionados de los récords, calcularon que dando vueltas junto con la Voskhod, a la cual estaba unido, a la velocidad orbital de 28.000 km/h, LEONOV había recorrido 716.680 km.

LEVERRIER, Urbain. 1811-1877 Matemático y astrónomo francés que logró prever, gracias a un cálculo, la existencia del octavo planeta más allá de Urano, aquel que se descubriría más tarde y se llamaría Neptuno. Alrededor de 1845 LEVERRIER estaba estudiando el movimiento de Urano, entonces considerado como el planeta más lejano del sistema solar, cuando se dio cuenta de que su órbita no seguía exactamente la trayectoria prevista por los cálculos, sino que se apartaba como si el movimiento del planeta estuviera influido por una inexplicable fuerza gravitacional. Elaborados los cálculos necesarios, LEVERRIER formuló la hipótesis de un octavo planeta responsable de tales perturbaciones, determinó su posible situación en el cielo y en 1846 transmitió sus conclusiones a sus colegas del observatorio de Berlín. LEVERRIER; era, sobre todo, un teórico y no se dedicaba a las observaciones sistemáticas con el telescopio. El astrónomo J. G. GALLE (1812-1910) recibió de inmediato la hipótesis de LEVERRIER, y la noche del 23 de septiembre de 1846** encontró sin mucho esfuerzo el planeta en la posición prevista por el matemático. Más tarde se supo que cálculos análogos a los de LEVERRIER habían sido realizados independientemente por el inglés J. C. ADAMS (1819-1892), quien sin embargo no había solicitado los astrónomos una investigación sobre el presunto planeta, por lo cual el mayor mérito del descubrimiento ha de atribuirse a LEVERRIER.

Liberty Bell 7 (astronave). Nombre dado a una pequeña astronave de tipo Mercury, que el 21 de julio de 1961 realizó el segundo vuelo espacial con un americano a bordo. La nave era tripulada por V. I. GRISSOM, el astronauta que años más tarde moriría durante una prueba simulada en Tierra, en el ámbito del proyecto Apollo. Sólo se trató de un vuelo suborbital, cuyas fases finales fueron relativamente dramáticas porque la astronave se hundió en el mar y GRISSOM se salvó milagrosamente.

Libración lunar. Es una especie de oscilación que presenta el globo lunar. Puede ser de tres tipos: 1) libración en longitud, debida a que la velocidad orbital de la Luna varía (II ley de KEPLER), mientras la velocidad de rotación de nuestro satélite alrededor de su propio eje es uniforme; 2) libración en latitud, debida a que el ecuador lunar está inclinado con respecto al plano de la órbita lunar unos 6° aproximadamente; 3) libración diurna, debida a que el observador terrestre, en movimiento de rotación junto con nuestro planeta, ve el globo lunar desde perspectivas diferentes en el periodo de un mismo día. Estos tres movimientos oscilatorios combinados hacen que la Luna, a pesar de que dirija hacia la Tierra siempre la misma cara, en la práctica muestra más del 50 % de su superficie (el 59 %). Aun sin moverse de la Tierra es posible, por lo tanto, observar una

pequeña porción de la otra cara de la Luna. El movimiento de libración fue descrito por GALILEO, que lo definió titubeo.

Libración (puntos de). Se definen puntos de libración, o también puntos de Lagrange en honor al astrónomo que los estudió por primera vez, a cinco puntos del espacio existentes entre dos grandes cuerpos celestes, como por ejemplo el Sol y la Tierra, o bien la Tierra y la Luna, caracterizados por el hecho de que un pequeño cuerpo situado en uno de estos cinco puntos puede permanecer allí manteniendo una órbita estable. Los cinco puntos de libración están distribuidos así: L1, L2, L3 están sobre la recta que une a los dos cuerpos de gran masa; L4 y L5 están en los vértices de los dos triángulos equiláteros en cuya base se encuentran los dos cuerpos celestes. Los puntos de libración tienen importantes aplicaciones astronómicas, porque constituyen los lugares ideales en los que se pueden colocar, con la perspectiva de permanecer en órbitas estables, colonias espaciales permanentes y estaciones para la construcción de aparatos espaciales. Los puntos más convenientes en los que se piensa, en un futuro no muy lejano, surgirán las primeras colonias humanas en el espacio, son L4 y L5.

Lick (observatorio). Observatorio astronómico americano fundado en 1888 y situado en Monte Hamilton. California, a 1.280 m de altura, a pocos kilómetros de la ciudad de San José. Creado gracias a una donación de James Lick (1796-1876) el observatorio, que es anexo de la Universidad de California, alberga un reflector de 3 m de diámetro con un objetivo de casi un metro de diámetro. Este último instrumento constituye el refractor más grande que existe en el mundo.

Limbo. Es el borde de un cuerpo celeste visto por un observador situado en la Tierra. En el caso de un planeta rodeado de atmósfera. Las observaciones del limbo son, por lo general, más difíciles con respecto a las del centro, porque es preciso penetrar un mayor espesor de gas antes de poder observar las capas subyacentes.

Líridas. Lluvia anual de estrellas fugaces que se observan entre el 12 y el 24 de abril, con un máximo de frecuencia el 22 de este mes. Estos meteoros parecen irradiarse de la constelación de la Lira, de donde ha surgido el nombre que llevan. En lo relativo a su origen, se trata de un enjambre de pequeñas partículas meteóricas provenientes de la disgregación del cometa 1861 I.

Lockyer, Norman. 1836 - 1920 Astrónomo inglés, pionero de los estudios de astrofísica y espectroscopia solar. En 1868, analizando un espectro solar obtenido por el francés Pierre Janssen, descubrió el elemento Helio (el segundo de la tabla periódica después del hidrógeno). Dos años antes había obtenido los espectros de las manchas solares, descubriendo que sus líneas de emisión experimentan un efecto Doppler, fenómeno que atribuyó al veloz desplazamiento de masas de gas a causa de los movimientos convectivos. Junto con Janssen, llegó a la conclusión de que las protuberancias son erupciones en las capas más externas del Sol. A Lockyer se debe también la fundación de la revista científica Nature.

Longitud. La longitud geográfica es una de las coordenadas fundamentales que determinan en la Tierra la localización de un punto (la otra coordenada es la Latitud). La longitud

es el ángulo formado entre el meridiano que pasa por el punto considerado y el meridiano fundamental de Greenwich elegido, por convención, como origen de esta coordenada geográfica. Se mide desde 0° a 180° al Este o al Oeste con respecto a Greenwich. La longitud celeste es la distancia angular de un cuerpo con respecto al primer punto de Aries medida en sentido horario a lo largo de la Eclíptica.

LOVELL, James. Astronauta americano, nacido en 1928, que ha participado en numerosas misiones espaciales, una de las cuales, relativamente accidentada, representó el primer caso de naufragio cósmico, sin embargo resuelto satisfactoriamente. LOVELL tuvo su bautismo espacial el 7 de diciembre de 1965, con la misión Géminis 7 que, manteniéndose catorce días en órbita alrededor de la Tierra, batió el récord de permanencia en el espacio, en aquella época en poder de los soviéticos. En el mes de noviembre del año siguiente, LOVELL estuvo al mando de la misión Géminis 12, en el curso de la cual su compañero Edwin ALDRIN efectuó un largo paseo espacial. En el mes de diciembre de 1968, el astronauta americano estableció una nueva primacía al convertirse en uno de los tres primeros hombres (los otros dos eran Frank BORMAN y William ANDERS) que estuvieron en órbita alrededor de la Luna en la astronave Apolo 8. En el mes de abril de 1970 se produce el dramático episodio de naufragio en el espacio. LOVELL era el comandante de la misión Apolo 13, que debía realizar el tercer descenso en la Luna; con él volaban SWIGERT y HAISE. Una imprevista explosión en un recipiente del módulo de servicio, puso a la astronave fuera de uso. Los tres hombres tuvieron que anular el descenso sobre nuestro satélite natural y, para evitar ir a la deriva en el espacio, utilizaron para el regreso los motores y el sistema de alimentación eléctrico del ahora ya inútil LEM, el módulo de exploración lunar. Gracias a este procedimiento pudieron realizar sin problemas el viaje de retorno.

LOWELL, Percival. 1855-1916 Astrónomo americano que creía en la existencia de seres vivos en el planeta Marte y predijo la presencia de un noveno planeta, más allá de Neptuno, que sería descubierto en el año 1930 y bautizado Plutón. Percival LOWELL comenzó su carrera como aficionado, después profundizó los estudios de astronomía y fundó un observatorio en Flagstaff, Arizona, actualmente en actividad, que lleva el nombre de su fundador. Al tener conocimiento de los estudios realizados en Italia por el astrónomo Giovanni SCHIAPARELLI (1835-1910) sobre la geografía de Marte, estudios que habían llevado a la determinación de la existencia de un reticulado de líneas con una longitud de miles de kilómetros, los llamados canales; LOWELL interpretó tales estructuras como excavaciones construidas por los habitantes de aquel planeta para transportar el agua de las zonas polares a las áridas tierras del ecuador. Estas deducciones suyas, consideradas bastante fantásticas por la mayoría de los científicos de la época, fueron expuestas por LOWELL en dos libros: Marte y sus canales (1906) y Marte como morada de vida (1908). Hoy sabemos que los canales vistos por SCHIAPARELLI, LOWELL y otros, no eran construcciones artificiales, sino efectos ópticos debidos al alineamiento aparente de 602 estructuras geográficas. En cuanto a la vida en Marte las sondas Viking han demostrado que no existe en estado evolucionado, ni tal vez en estado elemental. LOWELL se dedicó también a analizar el movimiento de los dos planetas extremos conocidos: Urano Neptuno. De la irregularidad de sus órbitas dedujo que allí debía haber un noveno planeta. Lo buscó activamente desde su observatorio, pero sin resultado. Catorce años después de la muerte

de LOWELL, el planeta fue descubierto por el mismo observatorio que había fundado y dirigido. Sin embargo, su masa es tan pequeña que no podía provocar las presuntas perturbaciones observadas por LOWELL. Por lo tanto, hoy se considera que el descubrimiento de Plutón debe atribuirse más a la casualidad que a una previsión científica.

Luminiscencia. Es un fenómeno físico típico de algunas sustancias que tienen la capacidad de absorber energía bajo diversas formas, y por lo tanto de remitirla bajo forma de radiación electromagnética. Este fenómeno es aprovechado, por ejemplo, en los tubos de iluminación que contienen una mezcla de gases, normalmente argón y vapores de mercurio, y un revestimiento interior de polvos luminiscentes. El agente excitador en este caso, es la corriente eléctrica que pasa a través del gas, el cual restituye bajo la forma de luz fría la energía absorbida. La atmósfera de la Tierra está caracterizada por un tenue resplandor nocturno llamado luminiscencia nocturna o luminiscencia de la atmósfera, también debida a diversos tipos de radiaciones que excitan las partículas de gas que la componen. La luminiscencia nocturna es un factor límite para las observaciones astronómicas desde el suelo, porque crea un velo de fondo que impide la individualización de las fuentes más débiles. Otro fenómeno típico de luminiscencia se produce en los gases cometarios y es el que, en ciertas ocasiones, hace a los cometas muy luminosos y espectaculares.

Luminosidad. La luminosidad de una estrella o de un cuerpo celeste en general, es una medida de la radiación emitida. Se dice en particular luminosidad aparente a la luminosidad con la cual se nos aparece una fuente celeste. Esta no constituye una medida de la energía luminosa efectivamente emitida por la fuente, porque está en función de la distancia. En otros términos, dos estrellas que emiten la misma energía luminosa pueden aparecer con diferente luminosidad aparente, porque están a distancias diferentes desde nuestro punto de observación. La luminosidad absoluta es en cambio una medida de la energía luminosa efectivamente emitida por la fuente, independientemente de la distancia. Las estrellas han sido subdivididas en clases de luminosidad o de tamaño o bien, como se dice más a menudo, de magnitud.

Luna. La Luna es el único satélite natural de la Tierra. Por otra parte, sus apreciables dimensiones lo convierten en el satélite más grande en relación al planeta al cual pertenece, hasta el punto que el sistema Tierra-Luna es considerado por algunos como un planeta doble. Desde que GALILEO describió su superficie, poco después del invento de su telescopio, la Luna ha sido objeto de muchos estudios y casi todos los grandes astrónomos se han planteado el problema de su origen. Sin embargo, sólo a partir de mediados de los años 60, desde que nuestro satélite ha sido el punto de mira primero de robots automáticos, que lo fotografiaron y analizaron desde diferentes perspectivas, y después por las espectaculares exploraciones de los astronautas de las misiones Apolo, se han recogido los elementos para una cartografía detallada y para reconstruir su historia geológica. Sigue siendo objeto de hipótesis, en cambio, el problema del origen de la Luna. Los estudios lunares están hoy en pleno auge. Se basan, sobre todo, en los aproximadamente 382 kg de rocas traídas a la Tierra por los astronautas americanos (correspondientes a unas 2.000 muestras); en los 300 gramos traídos por las sondas automáticas soviéticas (son pocos pero de gran valor, porque pertenecen a una zona diferente de descenso); en los sensitómetros y otros instru-

mentos de medida dejados en la Luna. Las rocas lunares recogidas por los Estados Unidos están guardadas actualmente en un recinto especial del Johnson Space Center de Houston, en Texas, en una atmósfera de nitrógeno y con el fin de evitar contaminaciones y cambios de su composición química. Se encuentran a disposición de la comunidad científica mundial y todos los años llegan a este centro de la NASA miles de solicitudes de laboratorios de todos los países, que desean tener una parte de este preciso patrimonio para efectuar investigaciones de todo tipo. El interés científico por la Luna tiene un móvil principal: nuestro satélite está casi totalmente privado de atmósfera, inerte y prácticamente inmutable desde la época en que se formó la actual corteza (por lo menos tres mil millones de años). Los planetólogos lo definieron como un mundo-museo, un lugar donde se conservan los testimonios de hechos que se remontan a los orígenes del sistema solar. En la Luna, en efecto, se han encontrado materiales más viejos que las más antiguas rocas terrestres. Además, expuesta sin ningún resguardo al viento solar, a la lluvia de las radiaciones espaciales de todo tipo y a la de los micrometeoritos (en la Tierra como es sabido, flujos de partículas y radiaciones son determinadas por la atmósfera y el campo magnético), la Luna es un laboratorio natural ideal a poca distancia de la Tierra. Por estos motivos se considera que el hombre, después de un periodo de estancamiento impuesto por crisis económica mundial, volverá a explorar la Luna y, probablemente en el siglo XXI, instalará allí laboratorios permanentes. Características físicas. La Luna tiene un diámetro ecuatorial de 3.476 km (poco menos de un tercio del de la Tierra; una densidad media de 3,34 g/cm³ (más baja que la terrestre, que es de 5,52, lo que indica una composición interna diferente). Su gravedad en superficie es de aproximadamente 1/6 con respecto a la terrestre, lo que explica los saltos que realizan los astronautas en la Luna. La Luna se mueve alrededor de nuestro planeta a una distancia media de 384.000 km, recorriendo una órbita poco excéntrica ($e = 0,0549$). El perigeo está a 356.410 km, el apogeo a 406.740. La velocidad media de la luna a lo largo de su órbita es de 3.700 km/h. El plano de su órbita está inclinado unos 5° 9' con respecto al plano de la órbita que la Tierra realiza alrededor del Sol. Para dar una vuelta completa en su órbita nuestro satélite emplea 27,3 días; este es también el tiempo que la Luna emplea para realizar un giro sobre su propio eje. De ello proviene el hecho de que la Luna dirige hacia la Tierra siempre la misma cara. Mientras la Luna gira alrededor de la Tierra, nosotros vemos zonas variables de su hemisferio iluminado por el Sol, lo que conduce a ese fenómeno conocido como fases lunares. En la fase de Luna Nueva el satélite es invisible porque muestra el lado no iluminado por el Sol. Después de aproximadamente dos días se observa una fina hoz que se encuentra poco después del ocaso del Sol por el Oeste. En tal circunstancia, en condiciones de cielo límpido, se puede observar la llamada luz cenicienta, es decir, se llega a ver la parte no iluminada de la Luna emitir una debilísima luz grisácea. El fenómeno se debe a la luz que la parte oscura de la Luna recibe de la Tierra, y a su vez refleja. Aproximadamente una semana después de la Luna Nueva se tiene el Primer Cuarto (media Luna), visible hacia el Sur después de la puesta del Sol. Unos catorce días después de la Luna Nueva se tiene la Luna Llena, visible toda la noche. Por último, unos veintidós días después de la Luna Nueva se tiene el Último Cuarto, que surge hacia medianoche en dirección Este y permanece visible hasta el día siguiente. Después de esta fase, la hoz se hace cada vez más fina, haciéndose visible al Este, durante el crepúsculo matutino. Entonces nuestro satélite se

hace invisible durante un periodo de cuatro o cinco días, para después recomenzar desde el principio un nuevo ciclo. Un ciclo lunar completo tiene la duración de 29,5 días. Contrariamente a lo que pueda parecer por una estimación efectuada a simple vista, la Luna tiene un Albedo (potencia reflectora) muy bajo: refleja, en efecto, sólo el 7 por cien de la luz solar (este albedo es característico de las rocas volcánicas oscuras). Su notable luminosidad aparente se debe al contraste con el cielo negro de la noche. La magnitud de la Luna Llena es de $-12,7^m$; es por lo tanto el cuerpo celeste más brillante del cielo después del Sol. Las medidas efectuadas por los instrumentos durante las exploraciones lunares han determinado que nuestro satélite natural tiene una atmósfera más rarificada que la terrestre: es como decir que no existe en absoluto. Estas raras moléculas de atmósfera están originadas probablemente por el calor radioactivo y tal vez por algún tipo de silenciosa actividad volcánica. Las moléculas no tienen tiempo de reunirse alrededor del globo lunar, formando una atmósfera consistente, porque son rápidamente barridas y dispersas en el espacio por el viento solar. Por otra parte la gravedad de la Luna es tan débil que no logra mantenerla. La falta de atmósfera causa la gran diferencia térmica que existe en nuestro satélite natural entre las partes expuestas al Sol y las que están en sombra. Las primeras alcanzan las temperaturas de ebullición del agua, unos $105\text{ }^\circ\text{C}$; las segundas descienden muy por debajo del punto de congelación, unos $-155\text{ }^\circ\text{C}$. Este es el motivo por el cual los astronautas han debido ponerse pesados trajes equipados con un sistema completo de acondicionamiento interior. Superficie: La primera diferencia que se nota observando a simple vista la superficie de nuestro satélite natural, es la existencia de regiones más oscuras en un contexto global más claro: son las que GALILEO y los antiguos astrónomos llamaron respectivamente mares y tierras pensando que, al igual que en la Tierra, se trataba de amplias extensiones de agua y de tierra firme. Hoy sabemos que no es así, porque en la Luna no hay trazas de agua (o por lo menos no ha sido encontrada hasta ahora ni siquiera excavando un poco en el subsuelo), pero la antigua terminología ha permanecido. Los mares lunares tienen nombres románticos como Oceanus Procellarum (Océano de las Tempestades) Mare Tranquillitatis (Mar de la Tranquilidad) y Mare Imbrium (Mar de las Lluvias). Algunos pequeños mares se indican con el nombre de lagos o bahías: Lacus Somniorum (Lago de los Sueños) y Bahía del Rocío. Las recientes exploraciones astronáuticas han podido, sin embargo, establecer que existe una diferencia tanto de composición como de origen, entre los mares y las tierras. En efecto, los mares son planicies de lava basáltica, similar a la arrojada por algunos volcanes de la Tierra, como el Etna, con una edad comprendida en los 3,8 y los 3,2 mil millones de años. En cambio, las tierras son altiplanos con una superficie relativamente accidentada, compuestos por rocas también de origen volcánico pero de diferente naturaleza, similares a los que en la Tierra llamamos anortositas. Su edad geológica se remonta a 4,4 y 4 mil millones de años. Estas edades han sido establecidas en las muestras traídas por los astronautas, gracias a los llamados métodos de determinación radioactiva. Como es sabido, en la Tierra las rocas más antiguas se remontan a 3,8 mil millones de años (Isua, Groenlandia); por lo tanto las rocas lunares cubren un vacío en la historia del sistema solar que, estando en la Tierra, jamás habríamos podido reconstruir. Si luego observamos la Luna más de cerca, con la ayuda de un instrumento óptico, además de tierras y mares veremos una nutrida extensión de cráteres de todas las dimensiones: los hay desde microscópicos, con diámetros de apenas algunas

décimas de milímetro, a inmensos, que se extienden por centenares de kilómetros. Esta intensa craterización no es una prerrogativa de nuestro satélite natural. Provocada por la lluvia de bloques de diferente tamaño que asolaban al sistema solar en la época de la formación de los planetas, ha afectado a todos los cuerpos mayores, los que atraían hacia sí estos residuos de la planetogénesis. Sólo los planetas con poca o ninguna atmósfera como la Luna, Mercurio, Marte, han conservado intactas las cicatrices causadas por los impactos. La Tierra, que también debía tenerlos en cantidades, los ha hecho desaparecer casi completamente. Los cráteres de la Luna tienen, por lo tanto, en su gran mayoría, un origen de impacto y se remontan a un periodo que los estudiosos sitúan entre 4,4 y 4 mil millones de años, cuando la lluvia de asteroides y meteoritos era más intensa. Hoy los meteoritos continúan cayendo sobre la Luna (y sobre la Tierra, donde se queman en la atmósfera provocando fenómenos como las estrellas fugaces), pero a un ritmo enormemente más bajo de lo que era hace cuatro mil millones de años. Las probabilidades de caída de un gran meteorito, además, son hoy muy remotas hasta el punto que, desde tiempos históricos, no se tiene la prueba de un nuevo y gran cráter excavado en la Luna por un impacto. Probablemente existen también cráteres que se formaron por la salida de magma del interior de la Luna, aquellos que en la Tierra llamaríamos conos volcánicos; pero, como muestran los estudios sobre la morfología de los cráteres, estos deben ser raros. La generalidad de los cráteres lunares tienen forma circular, con un diámetro bastante amplio en comparación con la altura y con las paredes teniendo una pequeña pendiente (alrededor de 10° en promedio): características típicas de una cavidad excavada por la caída de un cuerpo sólido. Alrededor del cráter se aprecian a menudo fragmentos esparcidos por el choque; algunos de éstos adquieren las formas características de rayos brillantes, que se prolongan centenares de km. Algunos cráteres muestran un característico pico central explicable con la dinámica del choque. Una manera de determinar la edad relativa de dos regiones lunares es la de efectuar los llamados conteos de los cráteres, dado que la región más intensamente afectada es, en general, también la más vieja. Los conteos de cráteres muestran que las tierras contienen alrededor del 16 % de cráteres más que los mares. Antes que los astronautas trajeran las rocas para las medidas de determinación radioactiva, esta era la prueba de que tales regiones eran las más antiguas de la Luna. Además de los cráteres, observando la Luna con al menos 100 aumentos, se aprecia una cantidad de otras estructuras típicas: hay cadenas montañosas, como las que surgen en los bordes del Mare Imbrium. La más famosa de estas, bautizada con el nombre de Apeninos, tiene una longitud de 1.000 km con alturas máximas de 6.500 m. El récord de altura en la Luna corresponde al Monte Leibniz, 11.350 m, que se encuentra cerca del polo sur Lunar: sobrepasa en mucho a la montaña terrestre más alta, el Monte Everest que tiene 8.848 m. Hay además estructuras en pequeña escala, con surcos y quebradas aproximadamente de un kilómetro de ancho, que se extienden también a lo largo de centenares de km. Uno de los más conocidos es llamado de Iginus, al sur del cráter Manilio. Otra estructura característica está dada por los muros: se trata de formaciones que tienen una altura de algunas decenas o centenares de metros y longitudes de decenas de kilómetros. Famoso es el Muro Recto que se encuentra en el mar de las Nubes. Numerosas son las cúpulas o elevaciones, que consisten en hinchamientos del terreno. Como han podido descubrir los astronautas en el transcurso de sus misiones de exploración, tanto las tierras como los mares de

la Luna están recubiertos por una espesa capa de finísimo polvo, que tiene una profundidad media de 10 metros, producto de la obra de disgregación de los pequeños micrometeoritos que chocan contra el suelo lunar. En la Luna existe una neta diferenciación morfológica entre la cara visible y la oculta: esta última, en efecto, está casi íntegramente formada por tierra y carece de las grandes cuencas oscuras de los mares que caracterizan la cara visible. La estructura más grande de este tipo sobre la otra cara de la Luna está representada por el Mar Oriental, una cuenca circular caracterizada por anillos concéntricos, probablemente ondas de lava elevadas por el choque de un asteroide y después solidificadas. La topografía de la Luna ha sido establecida, al menos en lo que respecta a las grandes formaciones existentes en la cara visible, por los astrónomos de la antigüedad. Sin embargo con las observaciones desde sus cercanías a cargo de sondas automáticas y de los astronautas, se ha reabierto el problema de dar nombre a los millares de nuevas estructuras que han sido identificadas en ambas caras de nuestro satélite natural. Esta función ha sido encargada, a partir de 1970, a un organismo especial de la IAU (International Astronomical Union). Se ha immortalizado no sólo a los grandes científicos de nuestro siglo como RONTGEN y LORENTZ, sino también a valerosos astronautas como GAGARIN y BORMAN; e incluso escritores de ciencia ficción como VERNE y WELLS. Interior. También el interior de la Luna, como el de la Tierra, puede subdividirse en varias capas. Hay una primera capa, de alrededor de 65 km de profundidad que forma la corteza y tiene una densidad media de 3 g/cm³. Sigue un manto que se extiende unos 1.200 km por debajo de la corteza y es un poco más denso que esta última. Por último está el núcleo central de alrededor de 1.000 km, el cual, probablemente, en la parte central esté en estado de fusión y tenga una temperatura de 1.500 grados. Este núcleo central, al contrario del terrestre, carece de elementos pesados como el hierro, lo que explica la baja densidad total del globo lunar. Esta subdivisión en capas se ha podido reconstruir gracias a los análisis sismométricos y gravimétricos efectuados en el curso de las diversas misiones. La red de sismómetros, colocados por los astronautas del programa Apolo, ha podido establecer que la Luna es, desde el punto de vista sísmico, un mundo bastante tranquilo: los terremotos tienen intensidades medias de 1/1.000 con respecto a los terrestres y, sin embargo, en lugar de manifestarse en tiempos cortos y extinguirse rápidamente, dan lugar a un largo fenómeno de resonancia. Sus puntos focales están localizados por lo general a grandes profundidades. Historia evolutiva. El análisis de las rocas lunares nos dice que la historia de la Luna comienza hace alrededor de 4,5 mil millones de años, cuando nuestro satélite, realizado el proceso de accesión de los fragmentos de la nebulosa protoplanetaria, se presentaba como una esfera recubierta por un océano de magma. A medida que este océano se enfriaba, los minerales de diverso tipo se solidificaban y se formaba una corteza superficial de baja densidad: la que habría dado origen a las tierras. Entre 4,4 y 4 mil millones de años atrás, como ya hemos dicho, todos los planetas experimentaron el bombardeo meteórico. La caída de los meteoritos más grandes causó la rotura de la corteza sólida apenas formada y la salida de magma, aún líquido, cubrió vastas regiones dando lugar a la formación de los mares. Los análisis sobre el magnetismo fósil de las rocas lunares han demostrado que, inicialmente, el núcleo de nuestro satélite estaba asociado a un fuerte campo magnético. Más tarde el calor que se desarrolló a causa de la radioactividad natural hizo refundir el núcleo, haciéndole perder el magnetismo. Actualmente la Luna presenta un debilísimo campo magnético. Origen. El

origen de la Luna es uno de los problemas que las exploraciones humanas de nuestro satélite no han podido resolver. Se sabe que la Luna está, desde hace tiempo, en fase de alejamiento de la Tierra; se calcula que poco después de su formación, debería encontrarse unas diez veces más cerca de la Tierra. Los científicos se preguntan si el satélite se formó en aquella posición, o bien si fue capturado por la fuerza de atracción de la Tierra. Una hipótesis muy difundida a comienzos del siglo XX sostenía que la Luna era un fragmento expulsado por la Tierra, probablemente de una zona ecuatorial. Sin embargo, la diversidad de composición de las rocas terrestres y las lunares ha hecho olvidar definitivamente estas conjeturas. Por la misma razón parece improbable que Tierra y Luna se hayan formado como un planeta doble a partir de la misma nube de material protoplanetario. Permanece como alternativa la de la captura por parte de la Tierra. No obstante, la captura de un solo cuerpo de dimensiones lunares no es fácilmente explicable. Hoy parece más probable que la Tierra ya formada haya capturado una serie de residuos que vagaban y que estos hayan dado vida a la Luna.

Lunación. También llamada mes sinódico, es el período que transcurre entre dos idénticas fases de la Luna, por ejemplo dos Lunas llenas. Equivale a veintinueve días, doce horas, cuarenta y cuatro minutos y tres segundos o, más simplemente, aproximadamente 29,5 días.

Lunar Orbiter. Serie de cinco naves automáticas puestas en órbita lunar por la NASA, con el propósito de proporcionar una completa cartografía de nuestro satélite natural, tanto de la cara visible como de la oculta. Cada Lunar Orbiter estaba provisto de dos equipos fotográficos: un gran angular y un teleobjetivo. Las imágenes eran registradas en película y después retransmitidas electrónicamente a tierra. El primer Lunar Orbiter fue lanzado el 10 de agosto de 1966; el quinto el 1 de agosto de 1967. La vida media de estas naves era de pocos meses, terminados los cuales se hacían precipitar sobre la superficie lunar, de tal manera que no interfirieran en misiones sucesivas. El trabajo del Lunar Orbiter fue esencial para la elección de los lugares en los que descenderían las misiones Apolo con astronautas a bordo.

Lunik (O Luna). Serie de 24 robots espaciales soviéticos para la exploración automática de nuestro satélite natural, que conquistó numerosas e importantes primacías. El Lunik, en septiembre de 1959, se convirtió en el primer objeto construido por el hombre que se estrelló contra la Luna. El Lunik 3, al mes siguiente, envió las primeras imágenes de la cara oculta de nuestro satélite natural. En enero de 1966, el Lunik 9, fue el primer robot automático que realizó un descenso suave sobre el suelo lunar, en una zona del Océano de las Tempestades, enviando imágenes durante tres días consecutivos. En septiembre de 1970, una sonda automática de la misma familia, que en el ínterin había cambiado el nombre de Lunik a Luna, la décimo sexta de la serie, recogió muestras del suelo lunar y las trajo a Tierra. Con esto los soviéticos quisieron demostrar que la exploración automática de la Luna era indudablemente menos espectacular, pero también fructífera desde el punto de vista de los resultados científicos. Apenas un mes después del Luna 17, desembarcó en suelo lunar un pequeño vehículo llamado Lunokhod, que dio vueltas transmitiendo imágenes televisivas del paisaje. La serie se cerró con la misión Luna 24, también caracterizada por una enésima recogida de muestras del suelo lunar.

Lunokhod. Es el nombre dado a dos vehículos soviéticos completamente robotizados, que fueron desembarcados por dos naves automáticas de la serie Luna. El Lunokhod 1 fue transportado al suelo de nuestro satélite natural por el Luna 17, el 17 de noviembre de 1970. Era un vehículo de ocho ruedas con una longitud de 2,22 m, 1,60 m de ancho y con un peso de 756 kg. Teledirigido desde la Tierra, exploró a todo le largo y ancho del Mar de las Lluvias, realizando en casi un año de actividad más de 10 km. Una versión netamente mejorada del vehículo lunar automático, el Lunokhod 2, fue desembarcado el 15 de enero de 1973 por la sonda Lunar 21; pesaba 838 kg y exploró una vasta zona del cráter Le Monnier, recorriendo 37 km. Con los Lunokhod los soviéticos efectuaron también medidas de la distancia lunar por medio de reflectores Láser, de manera completamente análoga a lo hecho por los americanos en el programa Apolo.

Luz. Por luz se entiende habitualmente esa porción de la radiación electromagnética visible al ojo humano y que, en términos generales, está comprendida entre las longitudes de onda de 4.000 Å (luz violeta) y 7.000 Å (luz roja). Sin embargo el término también se aplica, por extensión, a las radiaciones no visibles, por lo cual es frecuente encontrar frases como: observaciones en luz ultravioleta, o incluso análisis en luz infrarroja. La naturaleza física de la luz ha representado uno de los problemas más complejos de la ciencia moderna y sólo en épocas recientes, a comienzos del siglo XX, se ha resuelto satisfactoriamente. En el siglo XVIII, en tiempos de NEWTON, estaba vivo el debate sobre si la luz era un fenómeno ondulatorio, análogo a las ondas sonoras, o bien estaba constituida por pequeñísimas partículas llamadas fotones. Con la teoría de los cuantos, desarrollada a caballo del siglo XIX y del siglo XX por el físico alemán Max PLANCK (1858 - 1947), se demostró que la luz tiene una doble naturaleza, desde el momento que a veces se comporta como un fenómeno ondulatorio y a veces como una emisión corpuscular. Los colores que componen la luz visible (rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violeta) se explican admitiendo que la luz consiste en oscilaciones de campos eléctricos y magnéticos de diversa frecuencia (o longitud de onda); mientras otros fenómenos, como el empuje que es capaz de imprimir un rayo de luz a pequeñas partículas, se explican con la naturaleza corpuscular de los fotones.

Luz (presión de la). Cuando una onda luminosa incide sobre un cuerpo, le transmite una cierta energía o, como se dice en física, una cierta cantidad de movimiento, ejerciendo así una presión. En astronomía este fenómeno tiene su contundente demostración en las colas de los cometas las que, como es sabido, están compuestas de diminutas partículas de polvo y de gas. La presión de la radiación del Sol tiene su máximo efecto sobre las partículas de dimensiones correspondientes a la longitud de onda de la propia luz, es decir, sobre los granos de polvo con un diámetro de algunas micras (micras = millonésimas de milímetro). El efecto de la presión de la luz sobre las colas cometarias explica el fenómeno por el cual, en la proximidad del Sol, las propias colas se disponen en dirección antisolar en lugar de dirigirlas hacia el propio Sol, como se esperaría si la única fuerza que actuase fuera la de atracción de nuestra estrella. En cambio, en este caso, la presión ejercida por la luz vence la fuerza de atracción solar. Una aplicación astronáutica de la presión de la luz está dada por la astronave a vela solar. Se trata de un verdadero velero cósmico que se mueve en el espacio no en virtud del empuje de un motor a cohetes, sino

al de la luz. El primer proyecto de nave espacial a vela solar tomado seriamente en consideración por la NASA, fue presentado hacia finales de los años 70 y consistía en una especie de enorme cometa de 640.000 metros cuadrados (correspondiente a un cuadrado de 800 m de lado), que habría debido llevar a una sonda automática hacia un rendez-vous con el cometa Halley en 1986. Sin embargo, el proyecto no pudo llevarse a cabo debido a los cortes presupuestarios en el programa espacial decididos por la administración Reagan. Los primeros satélites artificiales sobre los cuales se pudieron hacer precisas mediciones de la presión de la luz solar han sido los dos Echo.

Luz (velocidad de la). En la antigüedad diversos científicos se plantearon el problema de si la luz se propagaba a una velocidad finita o infinita. En 1675 el astrónomo holandés Olaf ROEMER logró dar una respuesta a esta pregunta. Observando los eclipses de Júpiter, ROEMER se dio cuenta de que los instantes de desaparición de los satélites detrás de Júpiter, previstos en las tablas astronómicas, se anticipaban o retrasaban con respecto a lo que él podía medir, según Júpiter estuviera más cerca o más lejos de nuestro planeta. ROEMER dedujo que la anomalía podía atribuirse a que la luz tiene velocidad finita y por lo tanto emplea menos tiempo en llegar a nosotros cuando Júpiter está más próximo, y viceversa. Las distancias planetarias en aquellas épocas eran conocidas con poca precisión; por lo tanto, el valor de la velocidad de la luz, que el astrónomo pudo calcular de esta manera, fue relativamente impreciso. Sucesivas determinaciones, tanto a través de métodos astronómicos como terrestres (en laboratorio), han llevado al descubrimiento del exacto valor de la velocidad de la luz en el vacío, que es de 299.792,458 km/s (alrededor de mil millones de kilómetros por hora). Según las teorías físicas modernas, la velocidad de la luz es una constante (se indica con la letra *c*) cualquiera que sea el sistema de referencia, y también representa el límite infranqueable de velocidad en todo el Universo. La velocidad de la luz varía (en el sentido de que es ligeramente inferior) según el medio en el que se propaga (aire, agua, etc.).

Luz zodiacal. Es una luz tenue y lechosa que a veces se observa un poco por encima del horizonte antes del amanecer o después del ocaso, en los puntos en que el Sol se alzaría o se ha puesto. La luz zodiacal parece deberse a la luz solar que se vuelve difusa por una nube de polvo interplanetario, de forma lenticular, que yace sobre el plano ecuatorial del sistema solar. Se define zodiacal porque el fenómeno se manifiesta a lo largo de la franja del zodiaco, o eclíptica.

Liot, Bernard Ferdinand. 1897 - 1952 Astrónomo francés famoso por haber inventado el Coronógrafo, un instrumento que permite observar la Corona o atmósfera externa del Sol incluso sin un eclipse. Liot se dedicó a estudios de espectroscopia solar y a análisis de la luz reflejada por los planetas por medio de filtros polarizadores. Los instrumentos y las técnicas de observación introducidos por este brillante astrónomo han marcado un punto importante en la historia de las observaciones celestes.

Lluvias meteóricas. Son trazas luminosas provocadas por el ingreso en la atmósfera de pequeñas partículas sólidas, que se observan todos los años a intervalos de tiempo bastante determinados; se deben a que la Tierra, girando a lo largo de su órbita, encuentra periódicamente residuos de diverso

origen: planetario, cometario, etc. Las lluvias meteóricas bien determinadas son una veintena.

M

Magallanes (Nubes de). Son dos pequeñas galaxias-satélites de nuestra Galaxia, que se encuentran a unos 160.000 AL y representan por lo tanto las galaxias externas más próximas (inmediatamente después de Andrómeda). Fácilmente visibles a simple vista en todo el hemisferio austral (y en el boreal en latitudes inferiores a 20°), estas dos galaxias deben su nombre al famoso navegante portugués, Fernando de Magallanes (1480-1521) y fueron descritas en el relato que de su viaje alrededor del mundo hizo su lugarteniente Pigafetta (Magallanes fue asesinado por los indígenas después de haber desembarcado en las Filipinas). Las dos galaxias cercanas son llamadas Gran Nube de Magallanes y Pequeña Nube de Magallanes. La primera se encuentra a caballo entre las constelaciones del Dorado y de la Mesa y tiene un diámetro angular aparente de 6°; la segunda está en la constelación del Tucán y tiene un diámetro angular de 2°. La cantidad de materia que contienen es relativamente modesta: se estima que la primera tiene una masa de 1/30 y la segunda de 1/200 respecto a nuestra Galaxia. Se piensa que las dos galaxias estén unidas físicamente a la nuestra a través de un flujo de hidrógeno.

Magnetismo estelar. La generalidad de las estrellas, como nuestro Sol, presenta un débil campo magnético. Pero los astrónomos han observado que algunas estrellas en rápida rotación alrededor de su propio eje están unidas a fuertes campos magnéticos, decenas de veces mayores que el característico de nuestro planeta. El fenómeno fue experimentalmente demostrado por primera vez en 1947 por el astrónomo americano H. W. Babcock, analizando espectros estelares obtenidos en Mount Wilson (uno de estos espectros correspondía a la estrella α_2 de la constelación de los Lebreles). Tales estudios han llevado a descubrir, indirectamente, la existencia de Manchas incluso en estrellas lejanas: en efecto, se han observado variaciones periódicas de campo magnético asociadas a variaciones de luminosidad y explicables por el hecho de que, cuando la estrella en rotación dirige hacia la Tierra la cara cubierta de manchas, se registra un descenso de la luminosidad y un aumento simultáneo del campo magnético.

Magnetismo planetario. Algunos planetas, como Júpiter y la Tierra, tienen un fuerte campo magnético; otros como Saturno, Venus y Mercurio, un campo apenas apreciable. Los motivos por los que un cuerpo celeste genera un campo magnético han sido objeto de diversas hipótesis; se puede decir que hasta hoy no existe una teoría completa capaz de explicar no tanto la naturaleza, sino las variaciones temporales medidas en los campos magnéticos planetarios, y en particular, en el terrestre. La hipótesis más acreditada es que el campo magnético es generado por un núcleo de material buen conductor de movimiento, también por la rotación del planeta e incluso por los movimientos convectivos internos.

Magnetosfera. Es la región más externa de la Atmósfera terrestre, también conocida con el nombre de exosfera. Se extiende por encima de la ionosfera, a partir de los 500 km.

En esta región las partículas ionizadas están gobernadas por el campo magnético terrestre y forman una característica envoltura modelada por las líneas de fuerza del campo magnético y por la interacción con el Viento solar. Por el lado del Sol el encuentro entre las partículas del viento solar y la envoltura más exterior de la magnetosfera forma una onda de choque; por el lado opuesto las mismas partículas del viento solar arrastran la magnetosfera, haciéndola adquirir la forma de una cola cometaria. La magnetosfera forma un verdadero escudo protector contra las partículas cargadas del viento solar, impidiéndolas llegar al suelo.

Magnificación (o aumento). La magnificación o aumento de un telescopio está dada por la relación entre la distancia Focal del objetivo y la del ocular. Indicando con M la magnificación, F la distancia focal del objetivo, F_{oc} la del ocular, este elemento fundamental para conocer la potencia de un telescopio, tanto reflector como refractor, está dada por la fórmula correspondiente. Como el objetivo de un telescopio es fijo, para aumentar o reducir la magnificación se cambia el ocular. Todo telescopio, habitualmente, se pone en venta con una serie de oculares que permiten una amplia selección de aumentos. Sin embargo existe un límite superior y un límite inferior, es decir, una magnificación máxima y una magnificación mínima para cada instrumento, superados los cuales la calidad de la imagen desciende. Estos límites dependen del diámetro del objetivo y se pueden obtener empíricamente aplicando las correspondientes fórmulas. La elección de los aumentos con los cuales operar en el curso de las observaciones astronómicas es esencial para el buen éxito del programa que se perfija. En efecto, si se dirige la atención sobre objetos nebulares y difusos, como las nebulosas, los cúmulos de estrellas, las lejanas galaxias, es preferible elegir aumentos medio-bajos que aseguran una mayor luminosidad; para las observaciones lunares y planetarias es posible trabajar con los máximos aumentos. La elección del aumento está condicionada también por las condiciones ambientales del lugar de observación. Una atmósfera transparente y límpida y un cielo oscuro, permiten la gama más amplia de observaciones y el mejor aprovechamiento de la potencia del telescopio. Con un cielo turbulento, perturbado por iluminaciones ciudadanas, también la elección de la magnificación está limitada a los valores medio-bajos.

Magnitud. Es la luminosidad de una estrella tal como se nos aparece a nosotros que la observamos desde la Tierra. El primer astrónomo que subdividió las estrellas de acuerdo con su magnitud, creando una escala de medidas apropiada, fue el griego HIPARCO de Nicea (190 a.J.C. - 125 a. J.C.). En la clasificación de HIPARCO, se atribuía a las estrellas más luminosas una magnitud o tamaño 1; a las más débiles visibles a simple vista, magnitud 6. Con la invención del Fotómetro, un instrumento de medida que sirve para determinar la cantidad de luz emitida por una estrella, se ha podido ver que una estrella de magnitud 1 es 100 veces más luminosa que una de magnitud 6. Esto significa que, queriéndole dar una escala precisa a la clasificación de

HIPARCO (que era empírica, visto que se basaba sobre estimaciones realizadas a simple vista) cada magnitud difiere de la anterior o de la sucesiva en un factor de 2,5. La escala de magnitudes creada por HIPARCO se ha mantenido hasta nuestros días con algunas modificaciones imprescindibles. Se ha extendido, obviamente, a todas las estrellas no visibles a simple vista: aquellas estrellas que tienen magnitudes superiores a 6 y que, en los tiempos de HIPARCO, no eran conocidas porque no existían los telescopios. Por lo tanto, desde 6 en adelante (la estrella más débil hoy visible con los telescopios más potentes de tierra es de magnitud 24) las magnitudes indican objetos siempre más débiles. Por otra parte, en lo relativo a las estrellas más brillantes se ha visto que HIPARCO no actuó con mucha sutileza, reagrupando bajo la magnitud 1 estrellas que en cambio son mucho más luminosas. Por lo tanto se ha pensado crear una magnitud 0 y después las magnitudes negativas -2, -3, etc. En este caso los números negativos crecientes indican cuerpos celestes siempre más luminosos (el coeficiente de luminosidad entre una magnitud y otra es, obviamente, siempre el mismo, es decir, 2,5). Este sistema de evaluación de la luminosidad de una estrella se llama también magnitud aparente, porque está condicionado a nuestra posición. Bastaría que nos situáramos en otra estrella para ver cambiar todas las relaciones recíprocas de luminosidad, ya que variarían las distancias entre nuestro punto de observación y las fuentes observadas. Para conocer la cantidad de energía emitida por una estrella, los astrónomos utilizan la magnitud absoluta, que puede calcularse conociendo las características físicas de la estrella. Conocida la magnitud aparente y la absoluta, los astrónomos pueden también determinar con buena aproximación la distancia de una estrella desde la Tierra.

Maksutov (telescopio). Es un tipo especial de telescopio astronómico que combina el uso de lentes y espejos para dar una imagen carente de aberraciones, tanto del tipo esférico como cromático. Toma el nombre del soviético Maksutov (1896-1964), que en 1946 fue el primero en realizarlo. El esquema constructivo es similar al Cassegrain, con la diferencia de que los rayos luminosos, antes de ser enviados hacia el espejo primario, pasan a través de una lámina correctora cóncava.

Manchas solares. Son regiones de la Fotosfera solar que aparecen más oscuras con respecto a las zonas circundantes a causa de la temperatura más baja que las caracteriza. La fotosfera tiene, en promedio, una temperatura de unos 6.000 grados; las manchas tienen una temperatura de aproximadamente 1.000 grados menos. Desde el punto de vista físico se considera que las manchas son regiones en las que los normales movimientos convectivos de los gases que forman la fotosfera, son frenados por potentes campos magnéticos. Las manchas solares son fácilmente visibles incluso con un modesto telescopio para el aficionado, ya sea con el método de la proyección, recogiendo la imagen en una pantalla blanca situada más allá del ocular, o bien con el método directo después de haber colocado un filtro. Observadas con medio aumento, muestran una estructura consistente en una zona central más oscura, que es llamada sombra, rodeada por una zona periférica más clara llamada penumbra. Las dimensiones de una mancha son muy variables: van de un mínimo de 1.500 km (en este caso las manchas se denominan también poros), a un máximo de 150.000 km. Las manchas, que aparecen habitualmente en grupos, son más o menos frecuentes según un ciclo de once años de actividad solar.

Mareas. Son variaciones periódicas del nivel de las aguas marinas, debidas al efecto gravitacional combinado de la Luna y del Sol, que se producen dos veces al día. Debido a que la Luna está mucho más cerca de la Tierra que el Sol, su efecto-marea es de casi el doble que el del Sol. El efecto-marea consiste en dos subidas de las aguas de los océanos, que se verifican una en la parte en que se encuentra la Luna y la otra en la parte exactamente opuesta. Dos veces al mes, en el momento de la Luna Nueva y de la Luna Llena, cuando el Sol y la Luna se encuentran en la misma línea, el efecto de la marea alta se hace más fuerte; en cambio, en correspondencia a las fases del Primero y Ultimo Cuarto, cuando los efectos de las fuerzas gravitacionales de la Luna y del Sol tienden a neutralizarse, se registra el mínimo de la marea alta. También la atmósfera y la corteza sólida de la Tierra experimentan en cierta medida los efectos de la atracción lunisolar: por esto se habla también de mareas atmosféricas y de mareas terrestres.

Mariner. Sondas automáticas americanas para la exploración de los planetas interiores, que entre 1962 y 1971 obtuvieron importantes datos sobre la naturaleza de Mercurio, Venus y Marte. Las sondas Mariner eran una derivación de las sondas Ranger, empleadas para la exploración de la Luna. Estaban constituidas por una estructura de base hexagonal que contenía la instrumentación científica, dos paneles solares que se abrían en el espacio como alas desplegadas, telecámaras, sensores y una antena parabólica para la transmisión de datos a tierra. Eran puestos en órbita por un misil de dos secciones Atlas-Agena o Atlas-Centauro impulsados en una trayectoria de vuelo inercial hacia el planeta prefijado. El Mariner 2 fue la primera sonda automática construida por el hombre que se acercó a otro planeta, Venus, el 14 de diciembre de 1962; el Mariner 4, la primera en acercarse a Marte, revelando que también este planeta está cubierto de cráteres. El Mariner 9 conquistó el primado de puesta en órbita alrededor de un planeta, Marte, el cual efectuó durante un año un preciso reconocimiento fotográfico. Aún más compleja y espectacular es la historia de la empresa del Mariner 10. La NASA había proyectado un vuelo que preveía después del encuentro con Venus hacerlo con Mercurio. Cuando este proyecto fue publicado en varias revistas científicas, el profesor Giuseppe Colombo, de la Universidad de Padua, experto en problemas de mecánica celeste, calculó que, variando las condiciones del lanzamiento, era posible realizar no uno, sino tres pasos sucesivos por las cercanías de Mercurio. El estudioso comunicó su idea a la NASA y esta fue aceptada y realizada con gran éxito.

Mars (sonda). Infortunada serie de sondas espaciales soviéticas para la exploración automática del planeta Marte. Siete de estas naves fueron enviadas entre 1962 y 1973 al planeta rojo, pero por diversos inconvenientes de tipo técnico casi todas fracasaron en su objetivo principal y las informaciones recogidas fueron inferiores a las que los técnicos rusos esperaban. La Mars 1 (lanzada en noviembre de 1962) perdió contacto con la Tierra; la Mars 2 (mayo de 1971) llegó a Marte, pero se estrelló contra su superficie; la Mars 3 (mayo de 1971) logró efectuar un descenso suave, pero no transmitió nada; la Mars 4 (julio de 1973) no llegó al encuentro por un fallo en los cohetes de frenado; la Mars 5 entró en órbita alrededor de Marte y transmitió buenas fotografías; la Mars 6 (agosto de 1973) fracasó en el descenso suave y se precipitó al suelo; la Mars 7 (agosto de 1973) se perdió en el espacio.

Marshall (centro espacial). Es un centro espacial asociado de la NASA, que se levanta en Huntsville, Alabama, y en el cual se construyen transportadores, astronaves y satélites científicos. Toma el nombre del general George C. Marshall, ministro de defensa de los Estados Unidos y famoso autor del plan de reconstrucción europeo postbélico. Bajo la dirección de Werner VON BRAUN el centro realizó el mastodóntico transportador Saturno, que llevó a los primeros americanos a la Luna. De sus laboratorios también salió el famoso jeep lunar que sirvió a los astronautas para explorar nuestro satélite. El centro trabaja actualmente en los motores de las naves espaciales Space Shuttle y en la construcción de partes del Space Telescope.

Marte. Marte, conocido también como el planeta rojo por la característica coloración de su superficie es, de los vecinos de la Tierra, el que más ha hecho fantasear al hombre. Desde que, en el siglo XIX, fue posible disponer de instrumentos ópticos de cierta potencia, el planeta mostró una serie de detalles que lo hicieron aparecer como un gemelo de la Tierra: desde los cascos polares al ciclo estacional, de los fenómenos meteorológicos a la duración del día; todo parecía unirse en favor de la hipótesis de un Marte habitable y tal vez poblado por seres inteligentes. Probablemente influenciados por estos factores, algunos ilustres astrónomos del reciente pasado aseguraron haber divisado sobre la superficie del planeta una intrincada red de canales: acaso vías de agua artificiales construidas para transportar el precioso líquido desde los hielos polares a las áridas regiones ecuatoriales. El problema de la vida en Marte, desde aquel momento, ha condicionado toda la investigación sobre el planeta vecino, incluso la realizada por medio de sondas espaciales automáticas iniciada hacia mediados de los años 60, y podemos afirmar que, aún hoy, no está definitivamente resuelto. Si bien es cierto que, efectivamente, ninguno de los dos Viking americanos han indicado trazas de vida ni siquiera elemental, también es cierto que los instrumentos empleados y los lugares elegidos para las investigaciones resultaron inadecuados para proporcionar respuestas seguras. Características físicas: Marte forma parte de los llamados planetas terrestres (Mercurio, Venus, Tierra y Marte), es decir, los que tienen una corteza sólida superficial y densidades bastante elevadas. Tiene una distancia media del Sol de 227,9 millones de km, pero su órbita es relativamente excéntrica y, por lo tanto, en el perihelio (mínima distancia del Sol) se acerca al astro central hasta 206,7 millones de km; mientras en el afelio (máxima distancia) se aleja de él hasta 249,1 millones de km. Con estos parámetros orbitales Marte representa el primero de los planetas externos, los que se encuentran en el exterior de la órbita de nuestro planeta. Su periodo orbital es por lo tanto más largo que el nuestro: en efecto, Marte realiza una vuelta completa alrededor del Sol en 687 días. Las dimensiones de Marte son inferiores a las de la Tierra. Su diámetro ecuatorial es de 6.787 km (alrededor de la mitad del terrestre); su masa equivale a casi un centésimo de la terrestre; su densidad media de 3,94 g/cm³ (recordemos que la de la Tierra es de 5,5 g/cm³). Es sorprendente la analogía entre el día marciano y el terrestre: el periodo de rotación alrededor del propio eje de Marte es de 24h 37m 22s. También hay que destacar que el eje de rotación de Marte presenta casi la misma inclinación que el terrestre: 23° y 59' aquél, 23° y 27' el nuestro. La gravedad ejercida sobre la superficie del planeta rojo es también inferior a la de la Tierra: tomando igual a 1 la gravedad terrestre, la de Marte es 0,38. Esto quiere decir que un hombre de 70 kg pesaría en Marte sólo 26,6 kg. Siendo la órbita de la Tierra inferior con respecto a la de

Marte, nuestro planeta se mueve más velozmente que el planeta rojo y las posiciones relativas de los dos cuerpos varían continuamente. Cuando el Sol, la Tierra y Marte se encuentran alineados en este orden, se dice que Marte está en oposición (es decir opuesto con respecto al Sol para nosotros que lo observamos desde la Tierra). En cambio cuando la alineación es Tierra-Sol-Marte, se dice que Marte está en conjunción. Desde el punto de vista de las observaciones astronómicas, las oposiciones resultan las circunstancias más favorables para el estudio del planeta. En estas condiciones, Marte se halla a la mínima distancia de la Tierra. Se distinguen las pequeñas oposiciones, que corresponden a la posición en la que Marte se encuentra en el afelio; y las grandes oposiciones, que corresponden a la posición de Marte en el perihelio. Obviamente, estas últimas son las más codiciadas por los astrónomos, porque el planeta alcanza los mínimos absolutos de distancia, es decir, cerca de 55 millones de km. En estas condiciones el disco del planeta tiene una dimensión angular de 25. Recordemos que la Luna tiene un diámetro aparente de medio grado, es decir, 1.800; significa por lo tanto que Marte en las grandes oposiciones, alcanza las dimensiones de un disquito unas setenta veces más pequeño que la Luna. Observado con un telescopio de unos 30 aumentos, el planeta aparece como una naranja vista a dos metros y medio de distancia. Las pequeñas oposiciones se verifican, en promedio cada dos años y cincuenta días; las grandes oposiciones, en promedio cada quince años. En la segunda mitad del siglo XX, las fechas de las grandes oposiciones de Marte fueron en 1956, 1971 y será en 1986. En el periodo de las oposiciones Marte tiene una magnitud aparente de -3, se presenta como un cuerpo dotado de la luz roja y adquiere su máxima altura en el cielo hacia medianoche. Siempre a causa de los movimientos recíprocos de la Tierra y de Marte, el planeta rojo, con el transcurrir de las noches, parece moverse sobre el fondo de otras estrellas, ya de Occidente a Oriente, es decir con movimiento directo; ya de Oriente a Occidente, es decir con movimiento retrógrado; o bien permanece algunos días aparentemente quieto, y así se dice que está estacionario. Superficie. Los intentos de construir una cartografía de Marte a través de las observaciones al telescopio se remontan al siglo XVII cuando el físico holandés Christiaan HUYGENS realizó un primer mapa del planeta. Sin embargo, es en la segunda mitad del siglo XIX, gracias a los estudios del italiano Giovanni Virginio SCHIAPARELLI, cuando se individualizan las fundamentales estructuras superficiales del planeta rojo y se estudian algunas peculiaridades de su climatología, como los casquillos polares que se extienden y se retraen según las estaciones, los sistemas de nubes y las tempestades de arena que perturban por meses amplias regiones del planeta. Con una serie apasionada de observaciones realizadas en el periodo de un decenio, desde 1877 a 1888, con los refractores de 22 y de 44 cm del Observatorio astronómico de Brera en Milán, SCHIAPARELLI individualizó esas estructuras definidas como tierras y como mares (veremos que se trata de una terminología impropia, porque en Marte, al igual que en la Luna, no hay trazas de agua en estado líquido). Sin embargo, el astrónomo cree haber visto una intrincada red de líneas oscuras que unían los mares a través de las tierras y que él comparó a los canales naturales de un archipiélago. Cuando habló de los canales marcianos por primera vez, SCHIAPARELLI no pensaba que estas estructuras pudieran ser obra de criaturas inteligentes, pero el informe donde daba noticia del descubrimiento (Observaciones astronómicas y físicas sobre el eje de rotación y sobre la topografía del planeta Marte, Roma 1878), tuvo una amplia difusión en

todo el mundo, incluso fuera de los ambientes científicos. La obra es traducida al inglés y en particular la palabra canales, que en lugar de su equivalente channels, se le dio el término de canals, que, en lengua anglosajona, indica un canal, pero de origen artificial. A partir de aquel momento, para muchas personas pertenecientes, y no pertenecientes, al mundo de la investigación, el descubrimiento de los canales de Marte equivalía automáticamente a la prueba de la existencia de una civilización evolucionada que, encontrándose con problemas de sequía, había realizado obras gigantescas para el transporte del agua de las zonas polares a las ecuatoriales. El más acérrimo sostenedor de estas teorías fue el astrónomo americano Percival LOWELL (1855-1916), quien construyó un observatorio astronómico en Flagstaff, Arizona, con la fundamental intención de estudiar el planeta rojo. Sin embargo, en los años sucesivos, al multiplicarse las observaciones y la mayor potencia y precisión de los telescopios, aparece claramente que los canales de Marte y una multitud de otras estructuras geométricas observadas por SCHIAPARELLI, LOWELL y otros, eran ilusiones ópticas; en efecto, variando las condiciones de observación, la turbulencia de la atmósfera y la apertura del instrumento, cambiaban. En los primeros dos decenios del siglo XX, si bien a ratos la polémica entre canalistas y anticanalistas continuaba, las primeras fotografías astronómicas de Marte realizadas en diversas longitudes de onda demostraron que, sobre las emulsiones, los canales no aparecían. No obstante, la polémica sobre los canales pudo decirse totalmente acabada en 1965, cuando la sonda espacial automática americana «Mariner 4» envió por primera vez una serie de fotos, desde muy cerca del planeta, en las cuales el paisaje marciano no sólo no mostraba trazas de canales, sino que incluso se presentaba completamente similar al lunar: árido y carente de vida, con zonas profusamente cubiertas de cráteres. Otras dos sondas, el Mariner 6 y el Mariner 7, confirmaron en periodos sucesivos, este paisaje. En aproximadamente cincuenta años se había así pasado de la hipótesis de un Marte surcado por las aguas y tal vez habitado, a la de un mundo lunar y desolado, cuando una nueva misión espacial arrojó nueva luz sobre la superficie y el ambiente del planeta rojo. En efecto, en 1971, el Mariner 9 de la NASA se convirtió en el primer satélite artificial puesto en órbita alrededor de Marte, y desde aquella privilegiada posición comenzó a transmitir fotografías. Las primeras no mostraron casi nada, porque todo el planeta estaba asolado por una violenta tempestad de polvo. Pero cuando las nubes se fueron diluyendo, apareció algo muy distinto a un planeta muerto. Ante todo se pudo distinguir una neta diferenciación entre el hemisferio norte y el sur. Comencemos con este último que es el más viejo: muestra una estructura similar a las tierras lunares, con una elevada densidad de cráteres y algunas grandes cuencas de impacto, como Hellas (1.500 km de diámetro) y Argyre (900 km), que son los mayores de todo el planeta. Se piensa que las tierras del hemisferio sur son contemporáneas a las de la Luna y que, por lo tanto, se remontan al periodo (hace cuatro mil millones de años) en que los planetas experimentaron el gran bombardeo meteorítico. En el hemisferio norte, la superficie debe haber estado cubierta por efusiones lávicas relativamente recientes (algunos centenares de millones de años), por lo que aparece más lisa y con una densidad de cráteres cinco veces inferior a las tierras del hemisferio sur. Aquí también han aparecido una serie de estructuras insospechadas y ciertamente en neto contraste con la tesis del planeta muerto; por el contrario, hay estructuras que indican una intensa actividad geológica. Se trata de inmensos volcanes, cañones similares a los que existen en la Tierra, por ejem-

plo, en el desierto de Arizona, y canales largos y estrechos que no tienen nada que ver con los canales de Schiaparelli (sus dimensiones son tales que resulta imposible verlos desde la Tierra, ni siquiera con los telescopios más potentes) y que recuerdan los lechos secos de antiguos ríos, hasta el punto que algunos terminan, incluso, con una típica estructura en forma de delta. Las estructuras volcánicas más grandes tienen una forma similar a los llamados volcanes-escudo de la Tierra (como el Mauna Loa en Hawai que es el volcán más grande de nuestro planeta) pero están mucho más desarrollados. El mayor de todos ha sido bautizado Mons Olympus, se extiende sobre un diámetro de 500 km y avanza por 2 km sobre las llanuras de alrededor. Su cima no está caracterizada por una única boca, sino por una multiplicidad de grandes calderas. Hasta ahora no se han visto volcanes tan grandes en el sistema solar, por lo tanto Mons Olympus podría tener el récord. En cuanto a su estado de actividad, aunque no está en curso ningún proceso eruptivo, los geólogos piensan que puede estar activo. Al este del Olympus está la región de Tharsis con tres volcanes-escudo más pequeños denominados Arsia, Pavonis y Ascraeus. Además de los volcanes, las estructuras más imponentes-descubiertas por el Mariner 9 en Marte son los llamados cañones, que dominan las regiones ecuatoriales al este de la región de Tharsis. El complejo más espectacular toma el nombre de Valles Marineris, ocupa un área de 4.800 x 70 km aproximadamente, formando un sistema de valles largos y estrechos originados probablemente por movimientos tecnológicos, es decir, por hendedura del terreno a lo largo de un sistema de fracturas de la corteza marciana. Así como la Luna está recubierta por una gruesa capa de polvo, también la superficie de Marte está recubierta por un estrato de arena de espesor variable, producida por procesos erosivos y transportada de una región a otra del planeta por violentos huracanes que a menudo se desatan sobre Marte. En algunas zonas esta arena forma dunas muy similares a las que existen en nuestros desiertos. Entre 1971 y 1972, en el periodo en el que estuvo operando el Mariner 9, Marte cambió una vez más de aspecto para nosotros los terrestres. De un mundo inerte se nos presenta un planeta aún activo desde el punto de vista geológico, en el cual, si no había agua en estado líquido, había sin embargo, bastantes signos: en efecto, habían lechos de ríos secos y, según la hipótesis de algunos estudiosos, tal vez existía, en algunas partes de la superficie del planeta, una capa de agua congelada similar al permafrost que se encuentra en la tierra en las regiones polares. El agua, se sabe, es el elemento esencial para la vida y, aunque no marcianos evolucionados, existía la posibilidad de encontrar microorganismos animales o vegetales y demostrar que el surgimiento de la vida sobre un planeta no es un hecho exclusivo de la Tierra. Por este motivo los americanos se apresuraron a preparar otra misión confiada a dos sondas gemelas de nombre Viking. Cada una de ellas estaba formada por un orbiter, que debía permanecer girando alrededor del planeta para profundizar el relevamiento desde arriba, y de un lander, que debía descender sobre el suelo, excavarlo y analizarlo tanto bajo el perfil geoquímico, como biológico. Sin embargo antes de hablar de esta extraordinaria misión que se ha desarrollado en el verano de 1976, y que forma un capítulo por sí misma (el de la búsqueda de la vida en Marte), examinaremos antes, de manera sucinta, la atmósfera y los procesos meteorológicos que caracterizan al planeta. Atmósfera y clima. El cuadro proporcionado por las dos sondas Viking es bastante desconcertante si se valora desde el punto de vista de nosotros los terrestres. La atmósfera marciana es irrespirable, estando compuesta por el 95 % de dióxido de carbono, el 2 % de

nitrógeno y pequeñas cantidades de otros gases como argón, óxido de carbono, oxígeno, etc. Esta atmósfera, además, es bastante fina y en la superficie del planeta ejerce una presión de apenas una centésima con respecto a la que experimentamos en la Tierra. Es precisamente esta circunstancia la que determina la imposibilidad de la existencia de agua en estado líquido en Marte: el líquido, en efecto, con una presión tan baja, entraría de inmediato en ebullición y se evaporaría. El único estado físico del agua compatible con las presiones de aproximadamente 7,5 milibares de la superficie de Marte es el hielo: he aquí por qué los casquillos polares existen, pues probablemente están formados por una mezcla de hielos, de agua y de dióxido de carbono, mientras no hay trazas de agua en estado líquido en todo el planeta. Algunos estudiosos han formulado la hipótesis que, anteriormente, el planeta debía tener una atmósfera más gruesa y densa de la actual, que permitía la existencia de agua en estado líquido: se explicarían así los lechos de los ríos, ahora ya secos, descubiertos por las sondas americanas Mariner y Viking. La mayor distancia que separa al Sol de Marte determina temperaturas muy bajas con respecto a las terrestres. Durante la estación estival al máximo, no superan los -300 grados; durante el invierno descienden a -1250 grados. Existe además una notable diferencia entre las temperaturas ecuatoriales y las polares y ello crea sobre todo durante el invierno, potentes áreas de bajas presiones que desencadenan huracanes, que transportan las capas de arena de la superficie hasta 30 km de altura, oscureciendo durante meses regiones enteras. Estos vientos causan imponentes fenómenos de erosión y redeposición. En algunas regiones, sobre todo las polares, se han observado inmensos campos de dunas. Las sondas espaciales también han observado formaciones nubosas a base de agua helada o de hielo seco (dióxido de carbono congelado). Se piensa que se deben a la evaporación de los hielos polares y del permafrost. Los componentes químicos de estas nubes serían separados por la radiación ultravioleta: el hidrógeno escaparía a la atmósfera mientras el oxígeno, recombinándose con otros elementos, daría lugar a esos procesos de oxidación del terreno que vuelven roja la superficie de Marte. La vida. Aunque caracterizado por un ambiente hostil con respecto al nuestro, para el desarrollo de la vida, Marte aparecía, después de la exploración del Mariner 9, un planeta aún vivo y en plena evolución geológica. Por estas razones, hacia principios de los años 70 se insinuó la hipótesis de la existencia de organismos vivos elementales en su superficie. Comienza así la aventura del programa Viking, de las dos sondas gemelas destinadas a descender sobre el planeta para buscar allí vida. Lanzadas con un mes de distancia una de otra, en agosto y en septiembre de 1975, las dos sondas llegaron a las proximidades de Marte en junio y en julio del siguiente año, se situaron en una órbita alrededor del planeta y eligieron con precisión un lugar adecuado para el primer descenso. Entonces cada una de las dos sondas se dividieron en dos partes, un lander y un orbiter. El lander del Viking 1 descendió el 20 de julio de 1976 en una región perteneciente a un mar del hemisferio norte, llamado Chryse; el lander, del Viking 2 tocó suelo el 7 de agosto siguiente en un altiplano del hemisferio septentrional llamado Utopía, a unos 5.000 km de Chryse. Cada lander estaba dotado de un brazo mecánico capaz de recoger muestras del suelo y depositarlas en cinco contenedores dedicados a otros tantos experimentos: dos para el análisis de química orgánica e inorgánica; los otros tres para la búsqueda de microorganismos. Estos últimos recurrían a dos mecanismos fundamentales para descubrir la eventual existencia de vida en estado elemental: se trataba de ver si los microbios marcia-

nos asimilaban un alimento especial emitiendo luego gas, o bien si asimilaban gases marcados con sustancias radioactivas, elaborándolos y convirtiéndolos en materia orgánica. Los experimentos proporcionaron datos muy controvertidos. Según algunos estudiosos, una serie de reacciones químicas observadas en la mezcla del alimento con la tierra marciana habría indicado la existencia de microorganismos. Según otros, esas reacciones podían fácilmente estar provocadas por reacciones espontáneas de química inorgánica, sin la intervención de seres vivos. Hoy la opinión común es que los Viking no estaban equipados adecuadamente para proporcionar una respuesta precisa y unívoca sobre la vida en Marte. También ha sido criticada la elección de los lugares de descenso: seguros desde el punto de vista de la sonda, pero poco adecuados para revelar la existencia de animales o vegetales, aún en estado elemental. Es como si, según se ha dicho, para probar que la Tierra está poblada, enviásemos una sonda al desierto del Sahara. El problema de la vida en Marte queda aún abierto y será preciso esperar una nueva misión espacial para poder resolverlo. Sin embargo es preciso decir que la empresa de los dos Viking ha permitido adquirir otros muchos preciosos conocimientos sobre el planeta: basta decir que los dos lander llevaban, entre otros instrumentos, dos pequeñas estaciones meteorológicas y otros sensores para observaciones de tipo geológico y geofísico, mientras los dos orbiter proporcionaron una detallada cartografía del planeta. Interior y evolución. Los relieves sísmicos y gravimétricos efectuados por los dos Viking hacen pensar que Marte, como la Tierra, es un planeta que ha experimentado un proceso de diferenciación, con los elementos más densos que se han recogido en el centro para formar un núcleo, probablemente de naturaleza ferrosa, encerrado en un manto de composición similar al de la Tierra y delimitado en el exterior por una corteza de naturaleza basáltica. En lo que respecta a su evolución, se piensa que Marte, completada la fase de crecimiento, ha atravesado un periodo de intensa actividad tectónica, como lo demuestran los grandes volcanes y estructuras tipo Valles Marineris. Sin embargo esta actividad no habría tenido suficiente energía para desatar un movimiento de placas continentales similar al terrestre. Algunos estudiosos, en efecto, comparan el estado actual de Marte con la Tierra antes de la rotura de Pangea. (Así llamado el único continente de la Tierra antes de que comenzara la actividad de los movimientos de derivación).

Masa. Según una definición estrictamente física, la masa representa el coeficiente de inercia de un cuerpo, es decir, la resistencia que el cuerpo opone a las variaciones de su estado de movimiento o de quietud. De manera más inmediata, la masa puede definirse como la cantidad de materia contenida en un cuerpo. No hay que confundir ésta con el peso del propio cuerpo: en efecto, este último varía de un lugar a otro del espacio según el campo de gravedad en el que se encuentra inmerso el cuerpo (por ejemplo el peso de un cuerpo en la Luna es apenas 1/6 con respecto al del mismo cuerpo situado en la superficie terrestre mientras la masa del propio cuerpo permanece idéntica en cualquier lugar: es por lo tanto una magnitud invariable, que no depende de ningún modo de la situación física en la que se encuentra el cuerpo).

Mascon. Palabra derivada de la unión de las tres primeras letras de las palabras inglesas mass concentration (concentración de masa) y utilizada para indicar una anomalía gravitacional en algunas regiones lunares. Se trata de un término de reciente introducción, creado hacia finales de los

años 60 cuando las primeras sondas orbitando alrededor de la Luna revelaron la existencia de anomalías de gravedad en algunas zonas. El mascon más grande ha sido localizado en el Mar Imbrium y parece debido a la acumulación de grandes masas de magma como consecuencia de la rotura de la corteza, producida hace algunos miles de millones de años, por la caída de un gran asteroide.

Materia interestelar. Hasta hace algunas decenas de años, se consideraba que el espacio entre las estrellas estaba completamente vacío. Las observaciones ópticas y radioastronómicas han demostrado, en cambio, que éste está lleno de materia interestelar formada predominantemente por hidrógeno mezclado con minúsculas partículas sólidas, llamadas genéricamente polvo interestelar. El hidrógeno puede encontrarse en diferentes condiciones físicas, según esté más o menos cerca de las fuentes de radiaciones y según esté en forma neutral o ionizada. La densidad de la materia interestelar es de todos modos muy baja y, en promedio, se encuentra alrededor de un átomo de hidrógeno por centímetros cúbicos. A causa de la materia interestelar, la luz de las estrellas lejanas se debilita antes de llegar a la Tierra. En los espacios interestelares también han sido localizados elementos más complejos del hidrógeno y, en particular, moléculas orgánicas.

Materia interplanetaria. Análogamente a cuanto se dirá más adelante sobre la materia interestelar, antes se consideraba que el espacio entre los planetas de nuestro sistema solar estaba esencialmente vacío, aparte de los enjambres de partículas meteóricas provenientes de la disgregación de los cometas o de los impactos entre cuerpos sólidos. Las sondas espaciales han demostrado que el espacio interplanetario está lleno de un componente corpuscular, formado por enjambres de partículas elementales, que fluye de manera continua desde la atmósfera solar o Corona y que forma el llamado Viento solar. La materia interplanetaria se comporta diversamente según su naturaleza: las partículas elementales interactúan con los campos magnéticos de algunos planetas; las partículas sólidas de naturaleza meteórica más pequeñas experimentan la Presión de radiación de la luz solar; las partículas meteóricas más grandes, en cambio, están afectadas por la atracción gravitacional de los planetas moviéndose sobre órbitas keplerianas. En los comienzos de la era de la astronáutica se temía que la materia interplanetaria pudiera constituir una grave limitación para los viajes espaciales humanos. Sin embargo, se ha podido constatar que, con adecuadas protecciones y evitando algunas zonas del espacio más densas en partículas, el hombre puede afrontar con seguridad incluso estos peligros potenciales.

Mauna Kea (observatorio). Es el nombre del complejo de observación astronómica más elevado de nuestro planeta. Se encuentra sobre la cima de un volcán apagado a 4.200 m de altura, en las Islas Hawai, y es muy codiciado por la limpieza del cielo y la casi total ausencia de vapor acuoso, lo que facilita la observación al Infrarrojo. El complejo de Mauna Kea alberga cuatro grandes instrumentos. El primero, a cargo de la Universidad de Hawai, consiste en un reflector de 224 cm y está en activo desde 1970; el segundo realizado en el ámbito de un acuerdo entre Canadá, Francia y EE.UU., consiste en un reflector de 360 cm operando desde 1979; el tercero, realizado por la NASA en 1979, consiste en un telescopio infrarrojo de 320 cm; el cuarto, realizado por Inglaterra y funcionando desde 1979, es otro telescopio infrarrojo de 380 cm.

Mecánica celeste. Es la ciencia que estudia el movimiento y las mutuas atracciones gravitacionales de los cuerpos celestes en el espacio. Su nacimiento se puede hacer coincidir con la publicación por parte de Isaac NEWTON (1624-1727) de sus Principia, es decir con la formulación de la teoría de la gravitación universal. Continuadores de esta ciencia fueron, en el siglo XVIII, el físico y matemático suizo EULER, que realizó precisos cálculos sobre el movimiento de la Luna, de los planetas mayores y de los cometas, y el francés CLAIRAUT que calculó el efecto perturbador de los planetas sobre el cometa Halley. En el siglo siguiente, el descubrimiento más importante debido a la mecánica celeste es, sin lugar a duda, la localización del planeta Neptuno a partir de las perturbaciones medidas sobre Urano. El cálculo fue realizado independientemente por los científicos J.C. ADAMS y U. LEVERRIER. Los modernos desarrollos de la mecánica celeste permiten el cálculo de las trayectorias de las sondas para la exploración del sistema solar. Gracias a la ayuda de las computadoras ha sido posible aprovechar paso de las sondas junto a los planetas para obtener fantásticas aceleraciones y desviaciones de ruta, que han llevado a las sondas mismas a citas sucesivas con otros cuerpos celestes.

Mercurio. Es el planeta más próximo al Sol, el más pequeño de los planetas sólidos o terrestres. Hasta comienzos de los años 70 se sabía bien poco de su estructura, porque las observaciones desde tierra no mostraban ningún detalle de su superficie. En 1974 una sonda interplanetaria americana, el Mariner 10, realizó tres pasajes por sus cercanías, transmitiéndonos las imágenes de un mundo intensamente craterizado y carente de atmósfera, que parece un gemelo más grande de la Luna. Gracias a las 7.000 imágenes proporcionadas por el Mariner 10, hoy conocemos alrededor del 40 por cien de la superficie de Mercurio. Esto, junto con las informaciones que los sensores de la sonda han revelado sobre las características geofísicas del planeta, permite tener una idea, aunque no completa, bastante atendible de este cuerpo expuesto, más que los otros, a los rigores del Sol. Características físicas. Mercurio dista del Sol 58 millones de km en promedio, pero su órbita es muy excéntrica ($e=0,2056$), por lo cual el planeta en el perihelio se acerca hasta 46 millones de km y en el afelio se aleja hasta 69,8 millones de km. Realiza una vuelta completa en casi ochenta y ocho días y su órbita está inclinada unos 7° con respecto a la de la Tierra. En años pasados no se conocía el correcto valor del día de Mercurio. Las observaciones realizadas hacia finales del siglo XIX por SCHIAPARELLI lo igualaban al período de revolución, por lo cual parecía que el planeta siempre dirigía hacia el Sol el mismo hemisferio. En cambio, observaciones por medio del radar han conducido, hacia mediados de los años 60, a la determinación de 58,65 días para el período de rotación alrededor del propio eje, dato confirmado plenamente por las observaciones de la sonda Mariner 10. Las dimensiones de Mercurio son de aproximadamente $2/3$ inferiores a las de Marte. El planeta tiene un diámetro de 4.880 km; pero su masa de $3,30 \cdot 10^{23}$ kg es casi la mitad de la del planeta rojo, lo que indica que su densidad es muy elevada: las medidas indican una densidad completamente análoga a la terrestre, $5,42 \text{ g/cm}^3$, haciendo suponer un elevado porcentaje de hierro en la composición interior del planeta. Como consecuencia de la elevada masa del planeta la gravedad en su superficie es comparable con la de Marte: alrededor del 50 por cien de la terrestre. Su extrema proximidad al Sol y el hecho de que, en la práctica, no posee una atmósfera (ha sido medida una que a nivel del suelo es un billón de veces inferior a la terrestre) le hacen experimentar a este mundo infernal las más elevadas varia-

ciones térmicas existentes en un planeta. En efecto, se pasa de una temperatura máxima en las zonas expuestas al Sol de 415 °C (suficiente para derretir el plomo) a una mínima de -1750 grados en las zonas en sombra. En estas condiciones los científicos excluyen que el planeta pueda albergar cualquier forma de vida. Mercurio es un planeta muy difícil de observar desde tierra, a pesar de que al máximo de su esplendor alcance la magnitud -1 . Su distancia angular aparente del Sol no supera los 28°, lo que significa que el planeta, para el observador terrestre, se encuentra siempre inmerso en la reverberación de la luz solar y sólo es posible verlo sobre el fondo del cielo claro: o en el crepúsculo que precede al alba o en el que sigue al ocaso. Como el otro planeta interior, Venus, también Mercurio presenta el fenómeno de las fases. Cuando se encuentra perfectamente alineado entre el Sol y la Tierra, lo que sucede raramente, es posible verlo pasar como un punto negro sobre el disco del Sol. Los próximos tránsitos de Mercurio se producirán el 12 de noviembre de 1986 y el 14 de noviembre del año 1999. Superficie. La superficie de Mercurio muestra un poder reflector o Albedo del 7 por cien, es decir muy parecido al lunar. Su característica fundamental está representada por los cráteres: los hay de todas las dimensiones, desde los que tienen un diámetro de algunos metros a las grandes hendiduras, producidas por el impacto de grandes meteoritos, que alcanzan diámetros de centenares de km. La más grande de estas cuencas es el llamado Caloris Planitia, que tiene un diámetro de 1.300 km. Su estructura recuerda de algún modo las del Mar Imbrium o bien del Mar Oriental sobre la Luna. Planitia está rodeado por una serie de cadenas montañosas dispuestas concéntricamente, surgidas probablemente a raíz de la terrible onda de choque que formó el propio cráter; en el centro, la cuenca-cráter está caracterizada por una superficie lisa debida a la lava que cubrió la zona después de producido el impacto. Al igual que la Luna, Mercurio presenta una diferenciación morfológica entre los dos hemisferios: uno aparece cubierto de tierras o altiplanos intensamente craterizados; el otro por superficies lisas similares a los mares lunares, con un porcentaje de cráteres netamente inferior. Los cráteres de Mercurio, sin embargo, presentan algunas diferencias estructurales con respecto a los de la Luna: son menos profundos y en los de mayor tamaño el área de los productos secundarios del impacto desparramados alrededor, es mucho más reducida. Ambas peculiaridades se deben a la mayor fuerza gravitacional ejercida por Mercurio. Otras formas típicas de la superficie de Mercurio, son los llamados taludes, que se extienden por centenares de km cortando las estructuras preexistentes: probablemente se trata de fallas causadas por fenómenos de compresión, como consecuencia del enfriamiento y la contracción de la corteza a escala planetaria. También Mercurio como la Luna, presentaría una capa de polvo que recubre más o menos homogéneamente todo el planeta con un espesor medio de 20 metros. Evolución e interior. La historia evolutiva de Mercurio no se presenta diferente de la lunar. Después de la formación del planeta, el calor desarrollado por el intenso bombardeo meteórico fundió la superficie. Entonces se formó la región de las tierras o altiplanos. Sucesivos e imponentes impactos esporádicos dieron lugar a la formación de las grandes cuencas o cráteres, caracterizados por cubiertas de magma de tipo basáltico. Las observaciones geofísicas del Mariner 10, sugieren que el planeta debe poseer un gran núcleo de níquel-hierro, rodeado por una corteza de silicatos. El núcleo central del planeta podría estar en estado de fusión. El Mariner 10 también ha medido un débil campo magnético cuya intensidad es apenas el 1 por cien con respecto al de la

Tierra. Según algunos estudiosos, estaría producido por la magnetización permanente de las rocas que se encuentran sobre el planeta.

Mercury. Nombre del programa americano que llevó a los primeros hombres al espacio extra-atmosférico al comienzo de los años 60, en el intento, después coronado por el éxito, de paliar la ventaja de los soviéticos en el vuelo espacial humano y allanar el camino hacia la conquista de la Luna. Antes del proyecto Mercury, el camino americano para la exploración del espacio preveía el desarrollo de un avión-cohete conceptualmente similar al Space-Shuttle, pero mucho más pequeño, que debía ser puesto en órbita por un misil y retornar planeando como un aeroplano normal (proyecto Dyna-Soar). Los experimentos sobre esta vía ya había llevado a los aviones del tipo X 15 a alcanzar, a comienzos de los años 60, el récord de altura: 108 km. Con el lanzamiento del primer hombre al espacio por parte de los soviéticos (se trataba de Yuri GAGARIN, el 12 de abril de 1961), los americanos abandonaron esta línea de investigación y se dedicaron al diseño de una pequeña astronave que debía ser puesta en órbita terrestre por un misil balístico intercontinental. A la astronave y a todo el programa se le dio el nombre de Mercury. La astronave tenía la forma de un tronco de cono de 3 m de alto, un diámetro en la base de 2 m y un peso de 1.360 kg. Es su interior sólo podía ir un hombre situado en un asiento anatómico especial. La Mercury, estaba dotada de pequeños chorros para la corrección de la trayectoria en órbita, pero no disponía de motores para pasar de una órbita a otra. Un sistema de retrocohetes aseguraba la reducción de la velocidad orbital para la entrada nuevamente en la atmósfera, y un escudo térmico especial colocado en su base la protegía de las grandes temperaturas ocasionadas por la fricción. La caída se producía en pleno océano y la cápsula permanecía flotando gracias a un colchonillo inflable. El proyecto Mercury tuvo su bautismo el 5 de mayo de 1961, con un vuelo suborbital (la nave no realizó ni una órbita completa alrededor de la Tierra, sino sólo una parábola con el vértice en el espacio extraatmosférico) del astronauta Alan SHEPARD. Dos meses después siguió el segundo vuelo suborbital de Virgil GRISSOM. En ambos casos el transportador empleado fue un misil Redstone. Superados estas pruebas fundamentales, el proyecto despegó con los vuelos orbitales. Siguió cuatro de ellos, desde febrero de 1962 a mayo de 1963, todos coronados con el éxito. El misil empleado para estos experimentos fue el más potente Atlas. El proyecto Mercury fue la premisa necesaria del Géminis (astronave de dos asientos), en el ámbito del cual fueron realizados numerosos experimentos de rendez-vous y docking en órbita. Y el Géminis a su vez constituyó la premisa imprescindible para el salto hacia la Luna.

Meridiano celeste. Es el gran círculo de la esfera celeste que pasa por los polos norte y sur y por el cenit. Los cuerpos celestes alcanzan su máxima altura sobre el horizonte cuando atraviesan el meridiano celeste y esta posición recibe el nombre de Culminación.

Messier, Charles. 1730-1817 Astrónomo francés conocido sobre todo por haber recopilado el primer catálogo de nebulosas y cúmulos estelares y por haberse dedicado sistemáticamente a la búsqueda de cometas, descubriendo unos 13. Habiendo entrado con veinte años en el observatorio de París en calidad de escribiente, Messier se apasionó por la astronomía y estudiando bajo la guía del director Joseph Nicholas de l'Isle (1686-1768), se convirtió en su asistente.

Se dedicó de inmediato a la investigación sistemática de los cometas, descubriendo en 1759 el cometa de Halley y al año siguiente un nuevo cometa, al que se le dio su nombre. La recopilación del famoso catálogo de nebulosas y cúmulos estelares surgió, precisamente, de la necesidad de conocer exactamente posiciones y formas de estos objetos difusos, para no confundirlos con los cometas que iba descubriendo. El catálogo, que contiene un centenar de objetos, es aún hoy consultado por los astrónomos y constituye un punto de referencia fundamental para los aficionados. Gracias a sus descubrimientos fue nombrado primer astrónomo de Francia y académico de París.

Meteorito. Con este nombre se indica un fragmento más o menos grande de material extraterrestre, que cae al suelo y es recuperado. El fenómeno luminoso al que da lugar este cuerpo penetrando en la atmósfera se llama en cambio Meteoro. Los meteoritos caídos en la tierra y recuperados son en total unos 2.000; a través de los diversos tipos de análisis se ha podido estudiar su estructura física y química y formular hipótesis sobre su origen. El número total de meteoritos que caen en nuestro planeta es estimado en unos 500 al año; pero de estos, 300 terminan en los océanos, mientras un buen porcentaje de los que llegan al suelo caen en zonas desérticas; así, el número de los que se encuentran anualmente es muy bajo y no supera actualmente la decena. Desde el punto de vista de su naturaleza, los meteoritos se dividen en tres clases: pétreos o aerolitos; ferrosos o sideritas; pétreo-ferrosos o siderolitas. Para cada una de estas clases hay también subdivisiones, sin embargo recordaremos aquí solo que los meteoritos pétreos se subdividen en condritos (del nombre de pequeñas partículas esféricas, llamadas cóndrulos, que las caracterizan). Las observaciones ópticas han demostrado que la gran mayoría (92,7 %) de todos los meteoritos que caen a la Tierra, pertenece a la clase de los pétreos, y, en particular, a la subclase de los condritos (84,8 %); mientras es muy pequeño el porcentaje de los ferrosos (5,6 %) y de los pétreo-ferrosos (1,7 %). Estas proporciones avalan la hipótesis de algunos estudiosos, según la cual la mayor parte de los meteoritos proviene de la desintegración de núcleos cometarios: en efecto, hoy se considera que los materiales sólidos contenidos en los núcleos cometarios son también de tipo condritico. A pesar de ello, la mayoría de las muestras encontradas en el suelo, pertenece a la clase de los meteoritos ferrosos (54,5 %). Esta aparente paradoja se explica con el hecho de que los meteoritos pétreos, una vez caídos al suelo y no recuperados de inmediato, son fácilmente destruidos o alterados por los agentes atmosféricos, mientras que los ferrosos resisten más tiempo y pueden ser encontrados incluso muchos años después de la caída. El meteorito más grande que se conoce es el de Grootfontein, en Namibia: pesa 60 toneladas y es del tipo ferroso. El meteorito más grande del tipo pétreo es el de Norton County, en Kansas: se trata de un condrito con un peso de una tonelada. A veces la observación precisa de un bólido lleva a la reconstrucción de la trayectoria y a la localización de los fragmentos. Un hecho de este tipo ha sucedido hace algunos años en Checoslovaquia, donde el registro fotográfico de un bólido, el 7 de abril de 1959, permitió la recuperación de los fragmentos en las cercanías de la ciudad de Příbram. Los fenómenos físicos que acompañan la caída de un meteorito han sido profundamente estudiados.

Meteoro. Es un fenómeno luminoso consistente en un cuerpo celeste de apariencia estelar que se desplaza sobre el fondo del cielo oscuro, a veces dejando detrás una estela persis-

tente. Su definición popular es la de estrella fugaz. Un meteoro no debe confundirse con un Meteorito, mientras el primero consiste en el fenómeno luminoso, el segundo es un cuerpo sólido más o menos grande que provoca el fenómeno luminoso mismo. Los meteoros más luminosos, que superan la magnitud estelar de -4^m llegando hasta -22^m , son habitualmente llamados bólidos o bolas de fuego. Los meteoros se forman cuando un meteorito que se encuentra en el espacio entra en la atmósfera terrestre y, por efecto de la fricción, se quema en las capas altas de la atmósfera. Habitualmente el cuerpo meteorítico, que está animado por una velocidad comprendida entre pocas decenas y 60 km/s, se consume completamente entre los 80 y los 100 km de altura: entre la estratosfera y la ionosfera. Los bólidos más espectaculares, cuya presencia puede estar acompañada por un estruendo debido al desplazamiento del aire, se manifiestan más abajo, hasta alturas de 100 km. En lo que respecta al origen de los meteoros, hasta finales del siglo XVIII muchos estudiosos pensaban que se trataban de fenómenos eléctricos interiores de la atmósfera; después las observaciones simultáneas de grandes bólidos desde diversos puntos permitieron, por medio de la triangulación, calcular el lugar de los hechos y descubrir que el cuerpo responsable de la estela luminosa provenía del espacio extraterrestre. En cambio, en lo relativo a la fenomenología de los meteoros, se debe distinguir entre lluvias anuales de meteoros y meteoros esporádicos. Las primeras se producen puntualmente todos los años, en una fecha precisada y cada una presenta características bien definibles: parecen irradiarse desde un cierto punto del espacio que es llamado Radiante, y tienen una frecuencia horaria, una altura donde se produce el fenómeno luminoso y una magnitud media bastante típicas. Las lluvias de meteoros anuales son aproximadamente una veintena y están relacionadas con fragmentos esparcidos en el espacio por Cometas periódicos, o con los fragmentos residuales de procesos de planetogénesis. Los meteoros esporádicos, que no tienen una frecuencia periódica y que entran ocasionalmente en contacto con nuestra atmósfera, podrían ser en cambio el resultado de fragmentos arrojados muy lejos por colisiones entre asteroides. Es preciso subrayar que casi todos los meteoros presentan velocidades inferiores a las de fuga de nuestro sistema solar (42 km/s), lo que representa una prueba de su origen interno en el sistema solar mismo. Uno de los más famosos y popularmente conocidos enjambres de meteoros anuales es el de las Perseidas así llamadas por la constelación (Perseo) en la cual se encuentra el radiante: se produce en pleno verano, con un máximo de intensidad el 11 de agosto y ofrece como media, unas 60 trazas meteóricas por hora. Sin embargo, las condiciones de observación de los meteoros varían de año en año según encuentre la Tierra una zona más o menos densa de partículas. Entre las lluvias de estrellas fugaces más espectaculares verificadas en el siglo XX se recuerdan las Dracónidas del 9 de octubre de 1933, observadas en Europa con un máximo de 350 apariciones por minuto, y las Leónidas del 17 de noviembre de 1966, observadas desde EEUU con un máximo de 2.000 apariciones por minuto. Las observaciones de los meteoros se efectúan con diversos métodos. El más antiguo, el cual aún hoy recurren la mayoría de los astrófilos, consiste en la observación visual. Habitualmente se organizan grupos de observación formados por expertos conocedores del cielo quienes registran, en cada aparición, las coordenadas del inicio y el final de la estela luminosa, la magnitud aparente, la velocidad aparente, el color y otras características físicas. Los numerosos datos recogidos son sucesivamente transformados con adecuados métodos de cálculo, de tal manera

que determinen las características del enjambre relativo a ese año. Otro método, al que recurren preferentemente los observadores especializados, es el fotográfico. En este caso se emplean máquinas fotográficas con objetivos de focales muy cortas, capaces de captar meteoros de pequeña magnitud y cubrir una amplia zona del cielo. También se emplea un obturador rotatorio que sirve para interrumpir la traza dejada sobre la película por el meteorito, y así poder calcular la velocidad. Con los métodos de observación radar es posible registrar las estelas de los meteoros incluso cuando el cielo está cubierto, y calcular con buena aproximación velocidades y alturas del fenómeno. Con los métodos de análisis espectroscópico se ha podido establecer que la mayor parte de los meteoros está originada por fragmentos de meteoritos pertenecientes a la clase de los Condritos carboníferos: meteoritos pétreos muy frágiles y fácilmente desintegrables. Desde un punto de vista estadístico, se ha calculado que el número total de partículas que cotidianamente chocan contra la atmósfera terrestre, dando lugar a meteoros de luminosidad mayor a 5^m , es de aproximadamente 100 millones.

Meteorológico (satélite). Son un tipo de satélites artificiales que tienen el objetivo específico de mantener bajo control la atmósfera terrestre, con el fin de recoger elementos útiles para el servicio mundial de previsiones meteorológicas. Además de proporcionar imágenes sobre la evolución del sistema de nubes, de las zonas ciclónicas, del estado de la nieve, etc., estos satélites están dotados de sensores especiales capaces de determinar las temperaturas a diversos niveles atmosféricos evaluando así los efectos del balance térmico sobre la evolución del clima. Los primeros satélites meteorológicos fueron los Tiros, lanzados desde EEUU a partir de los años 60 y seguidos por los más sofisticados Nimbus. Desde principios de los años 70, los EEUU han lanzado la nueva generación de satélites meteorológicos NOAA (iniciales de National Oceanic and Atmospheric Administration), que giran en órbitas polares garantizando una completa cobertura de la situación meteorológica mundial. En órbita geosíncrona ecuatorial operan los Geos, en funcionamiento desde 1975, que han proporcionado precisos datos al programa meteorológico internacional denominado GRAP (sigla de Global Atmospheric Research Program). La URSS, por su parte, dispone de un sistema de satélites meteorológicos denominado «Meteor», inaugurado en 1969. Se trata de satélites polares similares a los «NOM». Funciones de análisis meteorológicos son confiados por los soviéticos también a algunos «Cosmos» y a las estaciones espaciales «Salyut». También la ESA (European Space Agency) ha comenzado a desarrollar un sistema propio de satélites meteorológicos basado en la serie Meteosat.

Meteosat. Nombre del sistema de satélites meteorológicos desarrollado por la ESA (European Space Agency). La serie está compuesta hasta ahora, de dos elementos, Meteosat 1, lanzado en noviembre de 1977, y Meteosat 2, lanzado en junio de 1981. Ambos han sido colocados en una órbita geoestacionaria, que tiene al satélite prácticamente inmóvil a 36.000 km de altura sobre la perpendicular del Golfo de Guinea. La función del Meteosat es la de efectuar un control continuo de las condiciones del tiempo sobre Europa y parte de África.

Micrometeoritos. Son partículas provenientes del espacio extraterrestre, de algunas milésimas de milímetro de diámetro, que llueven incesantemente sobre la Tierra sedimentándose sobre el fondo de los océanos o sobre los casquillos

polares, donde sus capas acumuladas por el tiempo pueden ser fácilmente reconocibles. No son otra cosa que el componente más pequeño de ese material más tosco que produce los espectaculares fenómenos de Meteoros y Meteoritos. Por lo tanto es común el origen de los micrometeoritos con el de los meteoritos: la disgregación de cometas y el choque entre asteroides.

MICHELSON, Albert Abraham. 1852 - 1931 Físico polaco naturalizado americano, a quien se debe la primera medida precisa de la velocidad de la luz. Sus experimentos, efectuados con diferentes tipos de equipo en los laboratorios californianos, comenzaron en 1878, pero no fue hasta 1926 cuando obtuvo el valor más preciso de la velocidad de la luz: 299.798.000 km/s. Junto con su colega Edward William Morley (1838-1923), MICHELSON realizó en 1887 también el histórico experimento que demostró la inexistencia del éter cósmico, a través del cual la luz habría debido propagarse. MICHELSON, por último, ha sido el primer científico en medir con métodos interferométricos el diámetro de diferentes estrellas.

MILLER, Stanley L. Químico americano que en 1952 realizó un importantísimo experimento que pasará a la historia de la ciencia. Simulando en el laboratorio de la Universidad de Chicago las condiciones de la atmósfera primordial (una mezcla de gas reductor), obtuvo por síntesis moléculas orgánicas complejas consideradas como precursoras de la vida. En la práctica, el experimento de MILLER consistía en dos bolas de vidrio unidas entre sí por un circuito de tubos. En una bola había metano, amoníaco, hidrógeno y vapor de agua (el modelo de la presunta atmósfera primordial), que eran excitados por descargas eléctricas; en la otra bola había agua, que se mantenía en ebullición por medio de un calentador. En el circuito se llevaba a cabo una circulación de vapores y de sustancias sintetizadas por efecto de las descargas eléctricas. La muestras recogidas indicaron que durante el experimento se habían formado numerosos tipos de aminoácidos. El experimento de MILLER fue la primera demostración experimental de que en la primitiva atmósfera terrestre los aportes de energía provenientes de los rayos, de las radiaciones ultravioletas, etc., actuando sobre las sustancias inorgánicas presentes en la atmósfera y en los océanos, pudieron haber llevado a una síntesis de moléculas biológicamente significativas. Los resultados de este experimento pueden interpretarse de dos maneras diferentes: que de una síntesis de este tipo se desarrolló un largo proceso evolutivo que, por etapas sucesivas, llevó al nacimiento de la vida y a su extraordinaria diferenciación en una multiplicidad de especies; o bien que la propia síntesis era la que había creado sobre la Tierra el ambiente favorable para el arraigo de una vida importada desde el espacio exterior (por ejemplo, utilizando un cometa como transportador).

Mimas. Primer satélite de Saturno en orden de distancia desde el planeta. Tiene un diámetro de 390 km y una densidad un poco superior a la del agua ($1,2 \text{ g/cm}^3$). Gira a una distancia media de 185.000 km de Saturno, en una órbita casi circular con un periodo de un día. Fue descubierto el día 17 de septiembre de 1789 por William HERSCHEL.

Mira. Espectacular estrella variable, que fue la primera de este tipo en ser descubierta. Se trata de una gigante roja, también conocida como o Ceti, que se encuentra en la constelación de la Ballena. Su distancia del Sol es de aproximadamente unos 820 AL. El primer astrónomo en registrar la

variabilidad fue David FABRICIUS en 1596. Su magnitud experimenta oscilaciones que van de un máximo de 2^m , durante el cual es posible ver a la estrella a simple vista, a un mínimo de 10^m . El periodo de variación es de 332 días. La variabilidad, desde un punto de vista físico, está causada por un fenómeno de expansión y contracción de las capas externas de la estrella.

Miranda. Es el primer satélite de Urano en orden de distancia desde el planeta. Tiene un diámetro de 320 km y una densidad equivalente al doble de la del agua (2 g/cm^3). Gira a una distancia media de 130.000 km del planeta, en una órbita circular con un periodo de 1,4 días. Fue descubierto el 16 de febrero de 1948 por el astrónomo Gerald Kuiper.

Mizar. Famosa estrella de la Osa Mayor, fácilmente localizable en el cielo porque ocupa la posición central del timón del Gran Carro. Fue la primera estrella doble en ser descubierta por medio de una observación con telescopio. El autor del descubrimiento fue el astrónomo Giovan Batista Riccioli.

Módulo de distancia. Es una de las técnicas utilizadas para determinar las distancias de las estrellas a través de una comparación entre la magnitud absoluta de la estrella (es de la magnitud que el objeto tendría si se hallara a la distancia estándar de 10 pc) y la magnitud aparente del propio cuerpo.

Moléculas interestelares. En los años treinta los astrofísicos descubrieron que las nubes de gas y polvo interestelares están pobladas no sólo por átomos de elementos simples, sino también por moléculas. A partir de los años 60, observaciones tanto ópticas como radioastronómicas han permitido la localización de moléculas interestelares complejas, tanto inorgánicas como orgánicas: agua amoníaco, formaldeídos, alcohol etílico. Las especies moleculares diferentes determinadas hasta ahora son más de cincuenta se encuentran concentradas en algunas nubes que rodean estrellas en formación, como la famosa nebulosa de Orión. Su presencia indica una química interestelar relativamente compleja, de la cual hasta hace algunos decenios no se sospechaba su existencia. Parece que los granos de polvo interestelar de apenas unas décimas de micra ofrecen a los átomos la posibilidad de unirse para dar vida a las moléculas complejas y, al mismo tiempo, constituyen una especie de escudo protector contra las radiaciones de todo tipo que, de lo contrario, romperían las cadenas moleculares recién formadas. Según otro punto de vista, en cambio, las moléculas orgánicas complejas, en lugar de ser el resultado de uniones a partir de moléculas más simples, serían la materia bioquímica producida por microorganismos vivos en las nubes interestelares. Los dos estudiosos Fred HOYLE y Chandra Wickramasinghe aducen la existencia de moléculas orgánicas complejas como la prueba de que la vida está ampliamente difundida en el Universo. Según su hipótesis, llamada de la nueva panspermia, los microorganismos vivos en las nubes interestelares serían transportados por objetos cometarios a los planetas y allí comenzarían un largo proceso evolutivo.

Molni ja. Serie de satélites soviéticos para telecomunicaciones el primero de los cuales fue lanzado en abril de 1965. Sus órbitas, contrariamente a las de los actuales satélites para telecomunicaciones, que son geoestacionarias sobre un punto del Ecuador, estaban inclinadas en 65° sobre éste, aunque fueron calculadas de manera tal que el satélite

empleaba la mayor parte de su periodo orbital en atravesar el territorio de la URSS. Esto podía lograrse con órbitas muy elípticas, con un apogeo (punto más distante de la Tierra) a unos 40.000 km sobre el hemisferio Norte y un perigeo (punto más cercano) a unos 500 km sobre el hemisferio Sur. Una órbita de este tipo, que tiene un periodo de 12 horas, asegura al satélite una visibilidad de casi diez horas del territorio soviético. Con un sistema de tres satélites Molnija era posible obtener una cobertura de veinticuatro horas sobre veinticuatro del territorio soviético. Cada satélite pesaba unos 800 kg y estaba formado por un cilindro de unos 3,5 m x 1,5 m, con seis paneles solares abiertos en forma de pétalos. El sistema, bastante ingenioso porque permitía obtener un servicio de comunicaciones radiotelevisivas sin recurrir a la más costosa órbita geoestacionaria, tuvo éxito. En efecto, después de la primera generación de los Molnija, siguió una segunda a partir de noviembre de 1971 y una tercera que comenzó en el mes de noviembre de 1974.

Momento angular. Se dice momento angular de un cuerpo que gira, por ejemplo una estrella que gira alrededor de sí misma, al producto de la masa m por el radio r , por su velocidad de rotación v . Un principio físico de fundamental importancia es la llamada conservación del momento angular: ello nos dice que si un cuerpo que gira se contrae, es decir, si la masa que lo forma se reúne en el centro, la velocidad de rotación aumenta de manera que el momento angular resultante se mantiene inalterado, y, a la inversa, si la masa se distribuye hacia la periferia, la velocidad de rotación disminuye de manera que el momento angular se mantiene. Este principio encuentra una verificación experimental en la simple observación de que una bailarina, quien realiza un movimiento con los brazos abiertos, gira con mayor velocidad si acerca los brazos hacia el tórax. En el campo cosmogónico, la observación de que la mayor parte del momento angular del sistema solar está concentrada en los planetas (98 %), mientras una mínima parte se encuentra en el propio Sol (2 %), representa casi toda la masa (99,9 %) del sistema solar, ha permitido formular hipótesis sobre el origen coherente con este cuadro de la situación.

Monte Palomar (observatorio). Es el segundo observatorio astronómico más grande del mundo, después del soviético de Zelenjuskaja en el Cáucaso. Está situado a 80 km al Nord-Este de San Diego (California), a una altura de 1.700 m y tiene un telescopio principal con un espejo de 508 cm de diámetro. Un segundo instrumento, sobre el que confía plenamente el observatorio, es un telescopio de tipo Schmidt con un espejo de 183 cm de diámetro, que es utilizado para la fotografía sistemática del cielo. Monte Palomar, al igual que Monte Wilson, debe su existencia a la visión y tenacidad de George Hellery Hale (1868-1938), el astrofísico americano que se dedicó en particular a los estudios de espectroscopia solar y estelar. Cuando fue proyectado, en los años inmediatamente precedentes a la segunda guerra mundial, el solo problema de la fundición de un monobloque de cristal del cual obtener el espejo principal y el sucesivo pulido del mismo, con el fin de obtener un espejo con la superficie deseada, planteó dificultades técnicas enormes. Hale murió en 1938 cuando el gran espejo de cinco metros, con un peso de 16 toneladas, apenas había sido terminado, no pudiendo llegar a ver el instrumento montado. Sólo en 1948 fue posible inaugurar el gran reflector que recibió el nombre de Hale. La construcción es tan enorme que el observador puede situarse en el mismo soporte del telescopio. El reflector Hale de 5 m ha mantenido

la primacía de telescopio más grande del mundo hasta 1975, año en el que la URSS inauguró el reflector de 6 metros de diámetro de Zelencjukskaja. Los observatorios de Monte Palomar y de Monte Wilson son han sido unificados en 1970 bajo una única organización y rebautizados Hale Observatories. Opera bajo la supervisión del California Institute of Technology.

Monte Wilson (observatorio). Es uno de los observatorios astronómicos más grandes de EEUU, fundado en 1904 por el gran astrofísico George Hellery Hale (1868-1938). Se levanta a 32 km, al Nord-Este de Los Angeles, a una altura de 1.740 m y está dotado de un instrumento principal con un espejo de 254 cm de diámetro, llamado telescopio Hooker, en honor del magnate californiano John D. Hooker que, en 1906, donó los 45.000 dólares necesarios para su construcción. Otros instrumentos importantes son dos torres solares de 18 y 46 metros de altura y un reflector de 150 m. En los años 30, a causa de la expansión de Los Angeles y de la contaminación atmosférica producida por esta ciudad, el observatorio entró en una crisis progresiva, por lo cual se ha hecho necesario proyectar y construir otro gran observatorio más al Sur, el de Monte Palomar, obra a la cual se dedicó hasta su muerte el propio Hale. Ambos observatorios están desde 1970 reunidos en una organización de investigación astronómica dirigida por el California Institute of Technology y toman el nombre de Hale Observatories, en honor a su fundador.

Montura (de telescopio). Es la estructura que sirve para sujetar el tubo de telescopio y que permite las operaciones de enfocar y seguir a un cuerpo celeste. Las monturas son de dos tipos fundamentales: altacimutales y ecuatoriales. La montura altacimutal hace referencia al sistema de coordenadas celestes altacimutales. El instrumento tiene libertad de moverse independientemente en altura, es decir, de arriba abajo; y en acimut, es decir, a derecha e izquierda. Esto requiere un continuo ajuste con el fin de seguir la trayectoria del astro. La montura ecuatorial, en cambio, hace referencia al sistema de coordenadas celestes ecuatoriales. Un eje del telescopio, llamado horario, está alineado con el eje de la Tierra y puede disponer de un pequeño motor que le hace realizar un giro completo en 24 horas; el otro eje, llamado declinación, es regular al primero. Una vez enfocado un astro y puesto en marcha el motor, el tubo del telescopio sigue automáticamente el movimiento de la bóveda celeste y el objeto enfocado permanecerá fijo en el interior del campo visual. Por este motivo la montura ecuatorial encuentra su empleo más eficaz en la astrofotografía, desde el momento que permite largas exposiciones. Existen diversos diseños de monturas ecuatoriales las más difundidas son la alemana, la inglesa y la de horquilla.

Movimiento propio. Es el pequeñísimo desplazamiento de una estrella con respecto a las otras, causado por el movimiento de cada una en el espacio. Por efecto del movimiento propio de cada estrella, la forma de las constelaciones varía en el tiempo, aunque son necesarios algunos siglos para poder apreciar este cambio. El movimiento propio de las estrellas se mide en segundos de arco por año y, dadas las enormes distancias entre las estrellas, es tan pequeño para cada estrella que, en promedio, se halla alrededor de una décima de segundo de arco por año. El movimiento propio más notable de una estrella es el de la estrella de Barnard, que alcanza los 10,27 segundos de arco por año. Otras estrellas con movimiento propio muy marcado son las de Kapteyn, la Groombridge 1830 y la Lacaille 9352.

Mullard (observatorio radioastronómico). Es uno de los observatorios radioastronómicos más importantes del mundo. Fue fundado en 1951 y se encuentra el Lord's Bridge, cerca de Cambridge. En este observatorio se han desarrollado los llamados radiotelescopios de síntesis, consistentes en pequeños radiotelescopios de forma paraboidal puestos en fila a lo largo de una línea de base y conectados entre sí para obtener, a efectos de lograr un gran poder de resolución, el mismo resultado de una única e inmensa antena de diámetro equivalente a la línea de base. El sistema más grande de este tipo instalado en el Mullard es un radiotelescopio de síntesis de 5 km, compuesto por 8 antenas parabólicas cada una con un diámetro de 13 metros y dispuestas a lo largo de una línea, precisamente, de 5 km. Con los instrumentos del Mullard se han descubierto diversas radiofuentes estelares entre las cuales se encuentran los famosos Púlsar: descubrimiento este último sucedido en 1967 por obra del radioastrónomo Antony HEWISH que, a raíz de ello, obtuvo el premio Nobel de Física en 1974.

Muller, Johann. 1436-1476 Astrónomo de Koenigsberg, conocido también con el sobrenombre latino de Regiomontanus y considerado, junto con su maestro G. PUERBACH (1423-1461), el fundador de la astronomía alemana. Hábil calculador de acontecimientos astronómicos, se dedicó también al estudio de los calendarios y en 1475 fue llamado a Roma por el Papa Sixto IV para la reforma del calendario. Fue un asiduo observador y en 1472 describió el paso de un gran cometa, el mismo que tres siglos más tarde sería observado por E. HALLEY de quien tomó el nombre. En la línea de todo lo hecho por su maestro, trató de medir la Paralaje de los cometas, sin embargo sus resultados fueron insatisfactorios.

N

Nadir. Definición astronómica de origen árabe que indica el punto de la bóveda celeste a los antípodas del observador; o bien el punto exactamente opuesto al Zenit. Si imaginamos suspender un hilo a plomo en el lugar de observación, el cenit se localiza en la prolongación hacia arriba del hilo hasta interceptar la imaginaria esfera celeste; el nadir es la prolongación hacia abajo del mismo hilo.

NASA. Sigla de la National Aeronautics and Space Administration, la agencia de los EE.UU. que tiene la función de coordinar todas las investigaciones espaciales y los programas de desarrollo aeronáutico para fines no militares. Fue fundada el 1 de octubre de 1958 bajo la presión del éxito obtenido por los soviéticos con el lanzamiento de los primeros satélites artificiales. Estaba claro, en aquel periodo, que los EE.UU. no podían remontar la supremacía espacial soviética, que se basaba sobre todo en potentes cohetes transportadores si no se concentraban en una única organización todos los cerebros esparcidos en los diversos laboratorios e industrias que podrían dar impulso al programa espacial americano. La NASA nace de las cenizas de la NACA (National Advisory Committee for Aeronautics), que había resultado insuficiente para dirigir un gran programa de exploración espacial. Hoy la NASA representa una de las industrias más importantes del estado americano, cuenta con más de 23.000 empleados y coordina el trabajo de una docena de centros de investigación repartidos por todo el territorio de los EE.UU.: el Ames Research Center, el Hugh Dryden Flight Center de Edwards, el GODDARD Space Flight Center, el Jet Propulsion Laboratory, el Johnson Space Center, el Kennedy Space Center, el Langley Research Center, el Lewis Research Center de Cleveland, el Marshall Space Flight Center, el Wallops Flight Center.

Navegación (satélites). Se trata de satélites artificiales colocados en órbita terrestre con el fin específico de colaborar con la navegación marítima y aérea. Algunos de estos satélites emiten señales que son directamente captadas por los diferentes medios de navegación y a través de los cuales es posible efectuar el llamado punto nave y establecer, por tanto, las coordenadas instantáneas del navegante. otros, dotados de relojes atómicos, proporcionan el tiempo exacto y, finalmente, otros aseguran una conexión directa y sin interferencias entre los medios de navegación y las estaciones de relevamiento situadas en tierra.

Nebulosa. Son cúmulos de gases y polvos en el espacio, que tienen una importancia cosmológica notable porque se consideran los lugares donde nacen, por fenómenos de condensación y agregación de la materia, los sistemas solares similares al nuestro. Las nebulosas pueden hacerse visibles si se encuentran en las proximidades de estrellas, o bien permanecer completamente envueltas en la oscuridad del espacio. En el primer caso, una nebulosa puede brillar o bien porque refleja la luz de estrellas cercanas, como sucede a la nebulosa de Mérope en las Pléyades (y se habla de nebulosa de reflexión), o bien porque, excitada por las radiaciones de las estrellas vecinas, emite ella misma radia-

ciones, como la famosa nebulosa de Orión (y entonces se habla de nebulosas de emisión). En el segundo caso, en cambio, la nebulosa no emite ninguna luz; sin embargo su presencia se deduce por una especie de región negra que destaca sobre el fondo del cielo estrellado. Estas nebulosas se llaman oscuras y un caso típico de ellas está representado por la llamada Bolsa de Carbón en la Cruz del Sur. Son también llamadas impropriamente nebulosas las Galaxias, es decir los sistemas de estrellas como el del que forma parte nuestro Sol, que sin embargo nada tienen que ver con las nebulosas de las que hablamos. Se trata de una herencia de la astronomía de siglo XIX, que ha dejado su signo en el lenguaje astronómico contemporáneo.

Nebulosa planetaria. Esta es otra definición astronómica que puede inducir a error, desde el momento que no se trata ni de una nebulosa ni de un planeta. Una nebulosa planetaria es en realidad una estrella que ha llegado al fin de su propia existencia, que lanza hacia afuera las capas periféricas de su atmósfera, las cuales adquieren una característica configuración de anillo. El objeto celeste más famoso de este tipo está representado por la nebulosa de anillo de la Lira. Las estructuras de este tipo son muy frecuentes en el Universo: cálculos estadísticos indican que deben sumar unas cuantas decenas de miles, sin embargo sólo unas mil, por lo general concentradas hacia el núcleo de nuestra Galaxia, son bien conocidas. Se trata de objetos estelares viejos desde el punto de vista evolutivo, pertenecientes a la llamada Población II. Se ha podido establecer que la parte central de las nebulosas planetarias está formada por el núcleo de la primitiva estrella a temperaturas muy elevadas, entre 30.000 y 150.000 grados. En estas condiciones el astro emite sobre todo rayos ultravioletas de manera que, observada en luz normal, la parte central se presenta como una débil estrellita. El anillo periférico está en cambio formado por hidrógeno en rápida expansión. El diámetro medio de los anillos de las nebulosas planetarias es aproximadamente de unas 40.000 UA. Las nebulosas planetarias resultan objetos muy espectaculares si se observan con un telescopio de media o gran potencia.

Neptuno. Es el octavo planeta de nuestro sistema solar, en orden de distancia desde el Sol, pero también es el último de los planetas gigantes: después de Neptuno, en el extremo confín conocido del sistema solar, sólo está el pequeño Plutón. Debido a la gran excentricidad de la órbita de Plutón, que por algunos periodos se desplaza al interior de la de Neptuno, este último adquiere la primacía temporal de planeta más alejado. Un fenómeno de este tipo se está produciendo actualmente: desde 1979 a 1999 Plutón se ha lanzado al interior de la órbita de Neptuno. Mientras, de los dos grandes gigantes del sistema solar, Júpiter y Saturno, hemos podido conocer, entre finales de los 70 y comienzos de los 80, una abundante cantidad de nuevas informaciones gracias a las revelaciones de los dos Voyager, Neptuno aún se encuentra fuera del alcance de estos dos robots automáticos y no se sabe si dentro de algunos años, cuando se encuentren en las proximidades del planeta periférico, estarán

aún en condiciones de transmitir informaciones e imágenes hacia la Tierra. Tal vez aún por mucho tiempo debamos contentarnos con las escasas indicaciones proporcionadas por los telescopios terrestres o, en el mejor de los casos, de los espaciales puestos en órbita alrededor de la Tierra. Neptuno está demasiado lejos para que pueda ser observado a simple vista; tiene una magnitud aparente de 7^m. Incluso con los telescopios más potentes no se ve más que un minúsculo disquito sobre el cual es difícil distinguir detalles de su superficie. Sin embargo, las observaciones espectroscópicas que han revelado detalles sobre la composición y las medidas efectuadas durante ocultaciones estelares, han permitido conocer algo sobre su atmósfera. Comencemos con las características físicas fundamentales. Neptuno muestra un diámetro ecuatorial de 49.500 km, ligeramente inferior al de Urano; tiene una masa 17,2 veces mayor que la de la Tierra y, por consiguiente, una densidad de 1,7 (algo superior a la del agua). Se encuentra a una distancia media de 4,5 mil millones de km del Sol y emplea ciento sesenta y cinco años en realizar una vuelta completa a su alrededor. El planeta realiza una vuelta completa alrededor de sí mismo en 15,8 horas y su eje está inclinado con respecto a la vertical, en 28° y 48'. Desde el punto de vista de la estructura interior, considera que Neptuno es un gemelo de Urano: presentaría un núcleo central rocoso de aproximadamente 16.000 km de diámetro, rodeado de una gruesa envoltura de hielos. Por encima de esta superficie sólida habría una abundante atmósfera a base de hidrógeno, helio y metano. Este último compuesto, en particular, parece el responsable de la coloración azul verde que puede observarse a través del telescopio. Aunque con los telescopios más potentes no se distinguen detalles de esta atmósfera, esta debería estar estructurada en franjas paralelas al ecuador, de manera muy similar a las de Júpiter y Saturno. Neptuno no es uno de los planetas conocidos desde la antigüedad: su descubrimiento es relativamente reciente, se remonta a mediados del siglo XIX y se produjo antes sobre el papel que en el telescopio. En 1845, en efecto, dos astrónomos, el inglés J. C. ADAMS y el francés U. J. LEVERRIER, llegaron de manera independiente a la conclusión de que la órbita de Urano era alterada por la presencia de un cuerpo Celeste más allá de su órbita. LEVERRIER solicitó una investigación en un sector específico del cielo a sus colegas del observatorio de Berlín y así, el 23 de septiembre de 1845, J. G. GALLE pudo descubrir Neptuno. Neptuno tiene dos satélites conocidos: Tritón y Nereida (aunque una exploración desde sus cercanías por parte de las sondas espaciales podría permitir el descubrimiento de otros). Tritón es, si no el más grande uno de los mayores satélites del sistema solar. La determinaciones más recientes de su diámetro van de un mínimo de 3.600 a un máximo de 5.200 km (en este último caso sería más grande que Titán, satélite de Saturno, y por lo tanto el más grande de todos los satélites conocidos). Aunque más grande que la Luna, Tritón es más ligero que ésta por estar constituido con materiales menos densos. Tritón fue descubierto por W. Lassell en 1846, gira a una distancia media de 355.000 km del planeta, en 5,8 días. Su órbita es circular, pero caracterizada por un movimiento retrógrado u horario (en el mismo sentido de las agujas del reloj; mientras que es sabido que casi todos los cuerpos principales del sistema solar rotan con movimiento directo o antihorario). A causa de esta peculiaridad los astrónomos han formulado la hipótesis de que en una época Plutón (este último caracterizado por una órbita particularmente excéntrica que atraviesa la de Neptuno) era también un satélite de Neptuno y que después, por efecto de un encuentro muy aproximado, haya sido lanzado lejos convirtiéndose en un

planeta independiente, mientras Tritón permaneció girando alrededor de Neptuno pero con el movimiento orbital cambiado de directo en retrógrado. El segundo satélite de Neptuno se llama Nereida, fue descubierto por G. Kuiper en 1949 y no es otra cosa que un pequeño fragmento de roca y de hielo que está en órbita a gran distancia del planeta (5.562.000 km en promedio), realizando un giro completo en aproximadamente un año; la excentricidad de su órbita, equivalente a 0,75, es la más grande entre los satélites del sistema solar. El diámetro de Nereida es de 940 km, la masa de $1,3 \times 10^{15}$ kg y la densidad media de $2,6 \text{ g/cm}^3$.

Nereida. Es el satélite de Neptuno más distante y más pequeño. Descubierto en 1949 por G. Kuiper, orbita a una distancia media de 5.562.000 km, realizando una vuelta completa alrededor del planeta en 360 días. Su órbita es muy excéntrica ($e = 0,75$). El satélite tiene un diámetro de 940 km y podría estar formado de una mezcla de hielo y rocas. El valor de su masa es relativamente incierto. Recordemos que ninguna sonda espacial ha llegado aún hasta Neptuno para una exploración cercana del planeta y de sus satélites.

NERVA. Iniciales de Nuclear Engine for Rocket Vehicle Application, es decir motor nuclear para aplicar a un vehículo de cohetes, el NERVA se constituyó en un gran proyecto para el desarrollo del primer transportador a energía nuclear de los EE.UU. Nacido a comienzos de los años 60 y confiado a los famosos científicos que ya habían desarrollado en los laboratorios de Los Álamos la tecnología de los reactores, el NERVA habría debido abrirle al hombre el camino para la exploración de los planetas vecinos, desde Marte hasta Mercurio, proporcionando toda la potencia necesaria para estar empresas. Se proyectaba utilizar el motor nuclear como segunda sección de un misil Saturno, encendiéndolo en el espacio, evitando así los problemas de contaminación en la atmósfera terrestre. A pesar de los millones de dólares gastados en la fase de proyecto y experimentación en tierra, el proyecto NERVA fue abandonado hacia finales de los años 60. En esta decisión concurren diversos factores: los crecientes costos de la empresa, el final de la tensión antagónica con la URSS después de la conquista americana de la Luna, y el estallido de la guerra de Vietnam. Es probable que durante todo el siglo XX una empresa colosal como es la realización de un gran transportador a energía nuclear, no sea ya tomada en consideración.

Neutrino. El neutrino es una partícula elemental perteneciente a la misma familia del Electrón. Como indica su propio nombre, es una partícula carente de carga eléctrica. En cuanto a la masa, o es nula o bien, como lo demostrarían los estudios más recientes, es muy pequeña, por lo menos diez mil veces menor que la del electrón. Este último hecho, si es cierto, tiene consecuencias importantísimas a escala cosmológica. Los neutrinos, en efecto, son partículas producidas en gran cantidad en el curso de los procesos termonucleares que se llevan a cabo en el interior de las estrellas; se calcula que, sólo del Sol, nosotros recibimos un flujo equivalente a diez mil millones de cm^2/s . Todo el Universo estaría inundado de enjambres de neutrinos continuamente emitidos por las estrellas y, si ellos tuvieran realmente una masa, la cantidad de materia contenida en el Universo podría superar ese valor que representa un límite a la indefinida prosecución de la expansión. En otros términos, descubrir si los neutrinos tienen una masa equivale a prever la suerte futura del Universo, a saber si éste continuará expandiéndose o bien sí, en un cierto punto de su existen-

cia, cesará de dilatarse para entrar en colapso sobre sí mismo. La determinación de la masa y de otras características físicas de los neutrinos es relativamente problemática, porque estas partículas interactúan muy poco con la materia y por lo tanto son de difícil determinación. Baste pensar que, mientras estamos leyendo, billones y billones de neutrinos atraviesan nuestra casa, nuestro cuerpo, la Tierra entera, sin ser desviados por las partículas elementales que constituyen todas estas cosas. En el intento de estudiar los neutrinos se han realizado descubrimientos particulares. Uno de estos, realizado por investigadores del Brookhaven National Laboratory en los EE.UU., consiste en un recipiente de 6 metros de diámetro por 15 metros de profundidad lleno de tetracloroetileno, un disolvente utilizado en las lavanderías. El principio en el que se basa este singular descubridor de neutrinos está en el hecho de que el cloro 37 contenido en el solvente, si tuviera que absorber un neutrino, se transformaría en argón 37; por lo tanto del recuento de los átomos de este isótopo eventualmente formado, se tendría una demostración indirecta del paso de neutrinos y algunas indicaciones sobre sus características físicas. Para evitar contaminaciones por parte de otras radiaciones penetrantes, como los rayos cósmicos, el recipiente ha sido colocado en las profundidades de una mina abandonada de South Dakota. Los resultados del experimento, actualmente en curso y de difícil interpretación, indicarían que efectivamente los neutrinos tienen masa. Un experimento análogo, para estudiar las características físicas de los neutrinos y de otras partículas elementales, será efectuado en un laboratorio actualmente en construcción en las entrañas del Gran Sasso, en Abruzzo (Italia).

Neutrón. Es una partícula fundamental sin carga eléctrica que, junto con los protones, representa un componente fundamental de los núcleos del Átomo. Tiene una masa de apenas $1,675 \times 10^{-24}$ gramos/ muy poco superior a la del Protón. En el interior del núcleo permanece en una configuración estable; aislado, el neutrón es inestable y después de aproximadamente diez minutos decae (es decir se transforma) en un protón y en un electrón. Los neutrones tienen un papel fundamental en los estudios de astrofísica, porque algunas estrellas están formadas exclusivamente por cúmulos compactos de estas partículas y por ello toman el nombre de Estrellas de neutrones.

Neutrones (estrellas de). Se trata de estrellas de las que los átomos han sido comprimidos hasta tal punto que los Protones y los Electrones se han unido para formar Neutrones, de modo que toda la estrella resulta constituida por estas últimas partículas. Se considera que un proceso de este tipo se produce en algunas estrellas llamadas Supernovas, las cuales en cierto punto de su evolución estallan emitiendo enormes cantidades de energía. Mientras los estratos externos de la estrella se expanden, formando una nebulosa de gas, los internos entran en colapso, dando lugar a la formación de una estrella de neutrones. Se calcula que un astro de este tipo tiene una masa comparable a la del Sol, pero con un diámetro de apenas algunos km. En tales condiciones la densidad de la materia es tan elevada que un cm^3 pesa alrededor de un millón de toneladas. Un clásico ejemplo de estrella de neutrones se encuentra en el interior de la nebulosa del Cangrejo. Aquí el astro que entró en colapso, en rápida rotación alrededor de su propio eje, emite radiaciones en todas las longitudes de onda, desde las ondas radio, a la luz visible, a los rayos X. Una característica de las estrellas de neutrones es la de latir como un radiofaro, de lo cual también el nombre de Púlsar.

Newcomb, Simon. 1835 - 1909 Astrónomo canadiense naturalizado en los EE.UU., que hizo una notable contribución a los estudios de mecánica celeste. A él se deben los cálculos precisos de una gran cantidad de magnitudes astronómicas concernientes a casi todos los cuerpos del sistema solar conocidos en su época; cálculos que se revelaron mucho más precisos que aquellos efectuados por sus predecesores, y que han sido utilizados durante decenas de años después de su muerte. Siempre partiendo de consideraciones de mecánica celeste, Newcomb desmintió la opinión, muy extendida en sus tiempos, que los asteroides eran fragmentos de un planeta que hizo explosión. En la época actual, como es sabido, se considera que son, por el contrario, los trozos de un planeta que no ha tenido la posibilidad de unirse a causa de las influencias gravitacionales de Júpiter.

NEWTON, sir Isaac. 1642 - 1727 Matemático, físico y astrónomo inglés, a cuyo genio, además de los numerosos descubrimientos en el campo óptico y matemático, se deben la formulación de la ley de gravitación universal y la explicación del movimiento de los astros. NEWTON nació en Woolsthorpe, en Lincolnshire, y realizó estudios universitarios en Cambridge. Las primeras intuiciones con respecto a la gravedad las tuvo cuando era poco más que veinteañero, tal vez precisamente por haber visto caer una manzana de la rama en su jardín (este episodio fue contado a Voltaire por la sobrina de NEWTON y por lo tanto probablemente es auténtico; de cualquier manera, la Royal Society de Londres conserva un fragmento del famoso manzano que, hasta ser destruido en el siglo XIX por un temporal, había sido objeto de verdaderas peregrinaciones). Después de haberse preguntado si la fuerza que atraía la manzana hacia la Tierra era la misma que mantenía a los planetas y la Luna en sus órbitas, NEWTON calculó que la atracción debía ser inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Para este cálculo se sirvió de las leyes formuladas por GALILEO sobre la caída de los pesos, y de las leyes de KEPLER sobre el movimiento de los planetas. Llegado a este punto tuvo que ocuparse de otros problemas abandonó esta cuestión y no la retomó hasta diez años más tarde. En esta segunda fase, alrededor de 1679, NEWTON volvió a los cálculos interrumpidos, beneficiándose de datos muy precisos que en el ínterin se habían logrado sobre el valor del radio terrestre, e identificó con la gravedad la fuerza de atracción Tierra-Luna; extendiendo entonces esta hipótesis a todo el Universo, e imaginando la masa de los cuerpos concentrada en sus centros, llegó a la célebre fórmula $F = G(M_1 M_2 / r^2)$. en la que F es la fuerza de atracción, G una constante universal, M_1 y M_2 las masas de dos cuerpos cualquiera y r su distancia. Enunciada, la ley dice así: Dos cuerpos cualesquiera se atraen recíprocamente con una fuerza directamente proporcional a sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de sus distancias. Aplicando esta ley a las atracciones Sol-planetas, se obtienen las leyes de KEPLER: NEWTON había descubierto por lo tanto la causa de los movimientos celestes. Consideraba que también las órbitas muy excéntricas de los cometas obedecían a la atracción ejercida por el Sol, y sobre esta base Edmund HALLEY, su amigo y entusiasta sostenedor, calculó las órbitas de 24 cometas. Precisamente por HALLEY (que incluso se encargó de los respectivos gastos) NEWTON fue alentado a publicar sus resultados en su obra más importante titulada: *Philosophie naturalis principia mathematica*, que es más brevemente conocida como Principia. Aunque resulta inmediato unir el nombre de NEWTON a la gravitación, gracias a él se hicieron grandes progresos también en matemáticas y óptica. Su mayor mérito

to, en lo que respecta a las matemáticas, consiste en haber inventado, casi simultáneamente con Leibniz, el cálculo infinitesimal, un instrumento indispensable para afrontar lo relativo a magnitudes continuamente variables, como por ejemplo la distancia desde un planeta al Sol. En cuanto a la óptica, los primeros trabajos de NEWTON en este campo se refieren a la posibilidad de descomponer la luz blanca en diversos haces de colores; a ello siguieron investigaciones sobre la naturaleza misma de la luz, que para NEWTON era corpuscular. Sin embargo, también está presente en sus reflexiones sobre el comportamiento de la luz, el concepto de onda asociado al de partícula; las partículas luminosas pueden propagarse en línea recta en el vacío, pero al encontrarse con un sólido generan una especie de onda de choque, que se propaga en el interior de éste: una concepción esta que recuerda, aunque un tanto lejanamente, la actual teoría de la luz. También la observación astronómica debe mucho a NEWTON: considerando que la aberración cromática de las lentes no podía ser eliminada, tuvo la idea de sustituir con un espejo el objetivo de los telescopios. Construyó así el telescopio de reflexión, destinado a convertirse en uno de los instrumentos astronómicos más potentes y por ello más importantes. Los trabajos de óptica fueron publicados con el título de *Opticks*, en 1704, gozando después de más de treinta años de autoridad incontestada, incluso a pesar de los errores que contenían (por ejemplo el relativo a la pretendida imposibilidad de corregir las aberraciones cromáticas de las lentes). .. En el campo matemático merece ser citada la obra *Tractatus de quadratura curvarum*, en la que el genio inglés expuso las reglas del método de las fluxiones. La influencia ejercida por NEWTON en la ciencia de su época y en la futura, fue muy grande. Ante todo, naturalmente, por la gran importancia de sus descubrimientos, y después al imponerse su método de investigación, que reforzaba el rechazo de todo aquello que no podía ser demostrado matemáticamente o físicamente, una posición que puede resumirse en el famoso dicho *Hypotheses non fingo*.

NGC. Sigla de un famoso catálogo estelar llamado New General Catalogue (nuevo catálogo general), que contiene las posiciones de nebulosas y cúmulos estelares. El NGC fue recopilado hacia finales del siglo XIX por el astrónomo danés J. L. DREYER (1852-1926) y publicado en 1888. Contenía 7.840 objetos a los que se agregaron, en los sucesivos suplementos, otros 5.000. Se trató de una obra mastodóntica que lanzó las bases para un mejor conocimiento de los objetos celestes lejanos.

Nikolaev, Andrian Grigorevic. Cosmonauta soviético, nacido en 1929, que fue uno de los pioneros de los vuelos humanos en el espacio. En agosto de 1962 pilotó la Vostok 3, una de las astronaves soviéticas de la primera generación (el mismo tipo inaugurado por GAGARIN) y realizó 64 órbitas alrededor de la Tierra, mientras, simultáneamente otro cosmonauta, Pavel Popovic, era lanzado a bordo de la Vostok 4. Los dos pudieron así realizar un vuelo conjunto, pero sin ningún tipo de conexión en órbita. Ambos aterrizaron normalmente en el territorio de la URSS. Nikolaev realizó su segundo vuelo en el mes de junio de 1970 a bordo de la Soyuz 9, la gran astronave de la tercera generación con la que los soviéticos consiguieron muchas primacías en el curso de los años 70. Esta vez le hacía compañía a Nikolaev Vitali Sevastianov. Ambos obtuvieron el récord (para aquellos tiempos) de permanencia en órbita, de 17 días. Nikolaev se casó en 1963 con la cosmonauta soviética Valentina TERESHKOVA famosa por haber sido la primera mujer en realizar un vuelo espacial.

NOAA (satélites). Iniciales de National Oceanic and Atmospheric Administration, esta sigla se le dio a una serie de satélites para fines meteorológicos lanzados desde los EE.UU. para reforzar la vigilancia de las condiciones del tiempo realizada por los satélites Nimbus. Cinco satélites del tipo NOAA fueron lanzados entre diciembre de 1970 y julio de 1976. Se trataba de satélites que se movían en órbita casi polares a 1.500 km de altura, realizando una vuelta completa alrededor de la Tierra en 115 minutos.

Nochelucientes (nubes). Son formaciones nubosas a base de cristal de hielo que se forman a unos 80-90 km de altura, en el confín entre la estratosfera y la ionosfera. Se hacen visibles después de la puesta del Sol y se destacan contra el cielo que tiende a oscurecerse, con nebulosidades de color blanco-azul. Las nubes nochelucientes no emiten luz propia sino que se limitan a reflejar la del Sol. Se ha aclarado que los hielos que las componen se forman por fenómenos de condensación alrededor de partículas de polvo micrometeorico, que permanecen en suspensión en la altura de la atmósfera.

Nodo. Es un punto en el que la órbita de un cuerpo celeste ya sea un planeta, un satélite o un cometa, intercepta un plano de referencia como, por ejemplo, el plano de la órbita terrestre. Se distingue un nodo ascendente cuando el cuerpo que intercepta el plano se mueve de sur a norte; y nodo descendente en el caso opuesto. La línea de los nodos es la que une el nodo ascendente con el nodo descendente, o bien la línea de intercepción de los planos orbitales de los dos cuerpos considerados.

Nova (O Nueva). Es una estrella que imprevistamente es involucrada en un proceso explosivo y aumenta su luminosidad en varios millares de veces en pocas horas. Por efecto de este fenómeno el observador terrestre ve encenderse una estrella donde no observaba nada, o ve aumentar el brillo de una estrellita que antes apenas era perceptible. Los antiguos astrónomos, creyendo que se trataba del nacimiento de una estrella, llamaron a estos astros estrellas nuevas o novae. Se piensa que el mecanismo físico de la explosión de una nova consiste en una inestabilidad que hace expandir rápidamente las capas externas de la estrella: sería precisamente el aumento de la superficie la que, junto con la emisión energética, determinarían el drástico aumento en magnitud. Otro mecanismo posible del encendido de estrellas nuevas estima las causas en la existencia de sistemas binarios, en los que los gases expulsados por una de las componentes son absorbidos por la otra, donde, al caer, liberan enormes cantidades de energía en diversas longitudes de onda del espectro electromagnético. A las nuevas se les da el nombre de la constelación en la que aparecen, seguido del año de aparición. La primera de estas estrellas observada en el siglo XX fue la Nova Persei, aparecida en 1901. Alcanzó en menos de un día una luminosidad de 0^m y se pudo observar en el cielo a simple vista durante varias semanas. Las novas son a menudo descubiertas por los astrónomos aficionados, que escrutan sistemáticamente el cielo en busca de la aparición de nuevas cometas, de nuevos asteroides o de otros fenómenos imprevisibles. También existen novas recurrentes, las cuales dan lugar a explosiones intermitentes con intervalos de algunos años. Este es el caso de la Nova Pyxis aparecida en 1890 y que volvió a brillar de manera inusual en 1902, 1920 y 1944. Las novas no deben confundirse con las Supernovas, estrellas que experimentan fenómenos explosivos análogos, pero en los cuales la cantidad de energía liberada y, por consiguiente, la luminosidad aparente, superan en

aproximadamente un millón de veces la de una estrella nova.

NRAO (observatorio). Sigla que constituye la abreviatura de National Radio Astronomy Observatory, es decir observatorio radioastronómico nacional. Se trata del complejo más grande de los EE.UU. para estudios de radioastronomía; dispone de una gran cantidad de antenas entre las cuales se encuentra el VLA (Very Large Array), un radiotelescopio de síntesis constituido por 27 paraboloides alineados a lo largo de una línea de base de 21 km, con el cual es posible obtener imágenes de gran resolución de lejanos objetos estelares como nebulosas planetarias, nebulosas, galaxias, etc. La primera sede del NRAO nace en 1957 en Green Bank, West Virginia. La antena más grande tiene un disco de 91 m de diámetro, es operativa desde 1962 y ha trabajado preferentemente sobre longitudes de onda de 21 y de 6 cm. Una antena del NRAO de 11 m de diámetro, estudiada con precisión para captar las longitudes de onda milimétricas, ha sido colocada en Kitt Peak, en las proximidades del observatorio óptico homónimo. Con ella se han descubierto numerosas Moléculas interestelares que se encuentran en las correspondientes nubes. El Very Large Array que ya hemos mencionado, ha sido inaugurado en octubre de 1980 y se encuentra junto a Socorro, New Mexico. Con este instrumento es posible obtener poderes de resolución comparables a los que se tienen con los mejores instrumentos ópticos, lo que para los estudios de radioastronomía representa un logro indudablemente importantísimo.

Nutación. Es una ligera oscilación del eje terrestre causada por la influencia gravitacional de la Luna. La nutación produce una cíclica variación de la inclinación del propio eje terrestre. Cada ciclo de nutación dura dieciocho años y doscientos veinte días, durante los cuales el eje oscila unos 9" alrededor de su posición media. La nutación se superpone a otro movimiento que afecta al eje terrestre y que es llamado Precesión.

O

OAO. Sigla de la primera generación de satélites astronómicos americanos, iniciales de Orbiting Astronomical Observatory (Observatorio Astronómico Orbital). Los OAO fueron lanzados a partir de 1966, cuando el desarrollo tecnológico permitió las maniobras a distancia de telescopios astronómicos. Su objetivo consistía en la observación de objetos celestes en longitudes de onda muy cortas: radiaciones ultravioletas rayos X y rayos γ . Como es sabido, estas emisiones del espectro electromagnético no son perceptibles por los instrumentos en tierra, porque son filtradas por la capa atmosférica; sin embargo su estudio es de enorme importancia para comprender los mecanismos energéticos de estrellas macizas, nebulosas, galaxias y cuásar. Pero veamos las misiones OAO. El OAO 1 fue lanzado el 18 de abril de 1966, transportaba un telescopio de 41 cm y cuatro de 20 cm pero los aparatos no pudieron funcionar por una avería en el sistema de alimentación. El 7 de diciembre d 1968 se puso en órbita el OAO 2, que llevaba un instrumentación aún más sofisticada: un telescopio de 41 cm, cuatro de 32 cm, cuatro de 20 cm y dos espectrómetros ultravioletas de 20 cm. La actividad d este racimo, de instrumentos de observación fue coronada por el éxito, ya que se pudo descubrir la primera fuente de rayos ultravioletas en la galaxia de Andrómeda. En cambio resultó un fracaso el lanzamiento del OAO B producido el 30 de noviembre de 1970 cuando a causa de un desperfecto en el motor de la última sección del observatorio astronómico, que contenía un gran instrumento de 91 cm, no pudo ni siquiera llegar a la órbita. Por último, otro éxito coronó la serie el 21 de agosto de 1972, cuando fue lanzado el OAO 3, después rebautizado Copérnico en honor al gran científico polaco. El satélite astronómico, que transportaba un telescopio de 81 cm y tres sensores para rayos X, descubrió el objeto celeste V 861 Scorpii, considerado como un probable Agujero negro.

Oberon. Es el más alejado de los cinco satélites conocidos de Urano. Está en órbita a una distancia media de 586.000 km del planeta, y la completa en 13,5 días; tiene un radio de 460 km y una densidad media de 2 g/cm^3 . Fue localizado en 1787 por el gran astrónomo William HERSCHEL, que seis años antes había descubierto el propio Urano. Los otros satélites del planeta son Ariel, Umbriel, Titania y Miranda.

OBERTH, Hermann Julius. Pionero alemán de las investigaciones astronáuticas y misilísticas realizadas a comienzos del siglo XX, puede considerarse, junto con el ruso TSIOLKOVSKY y el americano GODDARD, entre los fundadores de estas ciencias. Teórico de los vuelos espaciales, preconizó desde 1917 el misil a combustible líquido y presentó un proyecto en su tesis de graduación. En 1922 escribió un fascinante tratado titulado El misil en el espacio interplanetario donde presentó, entre otras cosas, los principios constructivos de las estaciones espaciales orbitales, y en 1929 publicó la que se considera su obra fundamental: El camino al viaje espacial, en la que prevé el desarrollo del motor a propulsión iónica. Este último trabajo le significó la obtención de un premio en dinero instituido por el mecenas francés Robert Esnault-Pelterie, que OBERTH empleó para

sus primeros experimentos en motores a cohete efectuados en el ámbito de la Sociedad Alemana para los viajes espaciales. Entre sus asistentes figuraba el jovencísimo Werner VON BRAUN. Junto con este último, OBERTH trabajó durante un corto tiempo en el polígono alemán de Peenemunde durante la segunda guerra mundial y después en los EE.UU., desde 1955 a 1958; a partir de esta fecha se retiró.

Objetivo. Es un sistema constituido por una o más lentes, o bien por un espejo, que tiene la función de hacer converger en un Foco la imagen real del objeto observado; ésta después será ampliada por el Ocular. Los telescopios con un objetivo constituido por lentes se llaman refractores; los que tienen un espejo, reflectores. En los refractores de buena calidad el objetivo está constituido por un sistema de lentes que tienen diferentes índice de refracción (típicamente una lente flint y una crown) con el fin de eliminar la Aberración cromática. Los reflectores no tienen aberración cromática, pero están afectados por otras aberraciones como la esférica. Una característica fundamental del objetivo es la relación focal, es decir, la relación entre su distancia focal y su diámetro.

Observatorio astronómico. Es un centro de investigación dedicado al estudio del cielo y dotado de unos instrumentos para la observación de los fenómenos celestes. El concepto de observatorio astronómico ha experimentado una profunda evolución con el pasar del tiempo. Antiguamente, cuando la astronomía estaba íntimamente ligada a las creencias religiosas, los observatorios coincidían con los templos destinados al culto de las divinidades. Es en la Edad Media cuando se afirma la concepción de observatorio como lugar de reunión de astrónomos e instrumentos. En los siglos sucesivos el observatorio se instala, por lo general, en una torre elevada de la ciudad. Sin embargo, después de los primeros decenios del siglo XX se manifiesta la exigencia de alejarse de la contaminación química y luminosa de las metrópolis: así se establecen los observatorios en lugares desérticos y elevados, donde el cielo nocturno es oscuro y el número de días serenos cada año es muy elevado. Desde los años sesenta, por último, gracias a los extraordinarios progresos de la física espacial y de las técnicas de exploración automática del espacio, se inició la construcción de los observatorios astronómicos orbitales. En esta voz no se habla de los observatorios radioastronómicos, que se tratan en la voz Radioastronomía. La historia. Los primeros observatorios de los que se tiene noticia, nacen en el tercer milenio antes de Cristo en Egipto y en Babilonia, son dirigidos por los grandes sacerdotes que se dedican al culto de los astros y tienen, predominantemente, la función de establecer los calendarios y prever los espectaculares fenómenos a los que se les atribuye un significado astrológico, como los eclipses. Famosos son los grandes templo-observatorios egipcios de Amon-Ra y de Hat dedicados al Sol y construidos de manera que una vez al año, en la época del Solsticio, un rayo de Sol atravesara la majestuosa construcción por entero hasta llegar a la nave. Al siguiente milenio se remonta la primera construcción de grandes templos-observatorios

megalíticos en Inglaterra, como el de Stonehenge. También la astronomía china tiene raíces antiqüísimas: muchas crónicas que nos llegaron a través de los jesuitas misioneros, que se trasladaron a aquellas regiones siguiendo las huellas de Marco Polo, nos cuentan de un gran observatorio que se levantaba sobre la Montaña Imperial, cerca de Nankin, donde se llevaba a cabo lo que se diría una vigilancia continua de los fenómenos celestes. De todos modos, parece que el primer gran observatorio dotado de instrumentos (no ópticos se entiende) para medir el tiempo y determinar las coordenadas de los astros, fue fundado en Samarcanda por obra del astrónomo persa Ulug Beg (1394-1449). Aquí se recopiló un catálogo estelar conteniendo las posiciones de 994 estrellas, que puede considerarse una edición puesta al día del catálogo de TOLOMEO y de HIPARCO. Más tarde, en 1576, Tycho BRAHE construyó en la isleta de Hven, en el estrecho de Sund, el observatorio astronómico más grande de su época y lo llamó Uraniborg. Allí existían instrumentos hechos construir por el propio astrónomo, ahora ya en desuso, como la esfera armilar, cuadrante mural, etc. Gracias a ellos, Tycho BRAHE logró realizar precisas observaciones que permitieron a KEPLER descubrir sus tres famosas leyes del movimiento planetario. Se trataba de instrumentos carentes de la parte óptica, con lo que todo tipo de medidas eran efectuadas observando a simple vista. En el siglo siguiente, exactamente en 1609, hace su aparición en la astronomía el primer telescopio construido por GALILEO: para los observatorios astronómicos este descubrimiento tuvo el significado de una revolución. Los primeros grandes observatorios nacionales dotados de un telescopio son fundados en París y Londres, hacia finales del siglo XVII. Sin embargo, los telescopios gigantes de aquellos tiempos son obra, tanto en diseño como en construcción, de colosos de la astronomía como William HERSCHEL, que en 1789 realiza un reflector de 182 cm, y Lord ROSSE, que en 1845 pone a punto un reflector de 182 cm. Llegamos así a la época de los modernos observatorios astronómicos fuera de las ciudades. En 1888 es fundado el Lick Observatory, situado a 1.300 m de altura en el Monte Hamilton, California. Está dotado de un refractor de 91 cm. Este instrumento es rápidamente superado por el de 102 cm del Yerkes Observatory, fundado en 1897 en Wisconsin, que aún hoy sigue siendo el telescopio de lente más grande realizado por el hombre. Con él, en efecto, se ha llegado a los límites de diámetro máximo posibles para una lente de objetivo. Los telescopios modernos. Con el comienzo del siglo XX, los grandes observatorios apuntan hacia la realización de los superreflectores. En efecto, ya en 1917, gracias al genio y esfuerzo de George Ellery Hale, el recién nacido observatorio de Mount Wilson se enriquece con el mastodóntico reflector de 2,54 m y, pasados apenas treinta años, se duplica la medida con la construcción del famoso reflector de 5 m de diámetro de Mount Palomar. Este es considerado aún hoy, por los profanos, como el telescopio más grande del mundo, aunque en realidad ha sido superado en 1975 por el reflector de 6 m de diámetro realizado en Zelencjukskaja, en la Unión Soviética. En los últimos años, el concepto de grandes observatorios astronómicos, entendidos como un polo aislado de desarrollo de la astronomía de una nación, ha sido sustituido por el concepto de grandes institutos de astronomía, que dirigen varios observatorios situados en regiones distantes en un mismo país, o incluso en países diferentes, y dedicados a investigaciones específicas en el ámbito de la astrofísica, etc. Una de las más importantes entre estas instituciones es la AURA (Association of Universities for Research in Astronomy), que coordina el trabajo de grandes y modernísimos observatorios como el de Kitt Peak en Arizona (que fue fundado en 1960 y posee la mayor concen-

fue fundado en 1960 y posee la mayor concentración de instrumentos, entre los cuales hay un reflector de 4 m de diámetro y el mayor telescopio solar del mundo, con 150 cm de diámetro y 100 m de distancia focal), y el de Cerro Tololo en Chile, que puede considerarse un observatorio gemelo al de Kitt Peak. Este último posee un gran reflector de 4 m de diámetro, el mayor disponible en el hemisferio Sur. Otras grandes instituciones que dirigen el funcionamiento de observatorios notables son la ATT (AngloAustralian Telescope), cuyo mayor instrumento consiste en un reflector de 3,8 m en Siding Spring, Australia, y el ESO (European Southern Observatory), formado por un consorcio de naciones europeas que han realizado un complejo de instrumentos, entre los que destaca un reflector de 3,6 m de diámetro, en Cerro La Silla, Chile. También es relevante el complejo internacional de Mauna Kea en Hawaii, donde convergen grandes observatorios ingleses (3,8 m), franco-americanos (3,6 m) y americanos (3,2 m). La generación de los observatorios astronómicos orbitales, que ha visto la luz a mediados de los años sesenta, ha abierto excepcionales perspectivas de desarrollo a la astronomía. En efecto, más allá de la capa atmosférica no sólo son posibles medidas astronómicas de gran precisión, sino que también se pueden realizar estudios sobre emisiones en longitudes de onda no filtradas por la atmósfera. Después de los primeros modelos de observatorios orbitales (OAO, OSO, etc.), se ha pasado a instrumentos más sofisticados, como los satélites HEAO, Iris, Hipparcos. La realización más importante de la década de los ochenta consiste en el Space Telescope, con el cual será posible descubrir si algunas estrellas están acompañadas de planetas. También los astronautas que han pasado largos períodos en órbita terrestre se han convertido en astrónomos, como ha sucedido con la tripulación del Skylab que ha llevado a cabo importantes observaciones sobre el Sol y el cometa Kohoutek. Sin embargo, nos parece prematuro afirmar ahora que la astronomía de tierra está próxima a desaparecer. En efecto, la mayoría de los cuerpos celestes emite en el espectro visible, y por lo tanto debe esperarse que los observatorios terrestres sean potenciados, como de hecho ya está sucediendo. El objetivo ya no será la creación de espejos de mayor abertura, porque se está en el límite pasado el cual la utilidad no crece ya proporcionalmente con la superficie del espejo reflector; la tendencia actual es hacia la realización de espejos múltiples que envían sus rayos luminosos hacia un único foco. Un instrumento de este tipo, el Multi-Mirror Telescope, ha sido colocado en Arizona y consiste en seis espejos contiguos de 180 cm cada uno, cuyas imágenes se hacen coincidir con un sistema electrónico. Se obtiene así un resultado equivalente al de un simple espejo de 4,4 m, pero con un notable ahorro: la construcción de un solo elemento reflector de estas dimensiones habría requerido mucho más dinero y trabajo que la construcción de los seis pequeños espejos. La Universidad de California proyecta para el futuro un telescopio con 60 elementos reflectores de 140 cm cada uno, equivalentes a un inmenso espejo de 10 m de diámetro. Tanto estos instrumentos de vanguardia como los tradicionales serán cada vez más sofisticados, debido al desarrollo de la microelectrónica y la informática. Ya ahora es posible para un astrónomo aprovechar sus horas de observación con un gran instrumento, sentado cómodamente en la habitación de su instituto universitario, controlando el telescopio a distancia a través de un terminal conectado a una computadora central que realiza todas las funciones del gran instrumento.

Ocular. Es un sistema óptico que sirve para ampliar la imagen real formada en el Foco de un Objeto. De la dis-

tancia focal, tanto del objetivo como del ocular, depende la Magnificación o Aumento obtenido. Habitualmente un ocular tiene una distancia focal comprendida entre 4 y 40 mm. Esquemáticamente está formado por dos lentes: aquella, en la que se apoya el ojo, se llama lente ocular; la otra, lente de campo porque tiene la función de incrementar la amplitud del campo visual. Las combinaciones ópticas que componen un ocular son múltiples: hay desde oculares de tipo Huygens y Ramsden, formados por dos lentes planoconvexas, a oculares de tipo ortoscópicos en los que una de las dos lentes está constituida por un triplete de lentes unidas entre sí; e incluso oculares del tipo Erfle en los que las lentes separadas son tres. Cada uno de estos tipos de oculares es capaz de satisfacer las más diversas exigencias, como por ejemplo la eliminación de la Aberraciones, la obtención de un gran campo visual, etc.

Ocultación. Es la desaparición de un cuerpo astronómico detrás de otro. Se trata de un fenómeno menos espectacular que un eclipse, pero que sin embargo reviste gran importancia para medidas astronómicas de diverso tipo. El cuerpo celeste que más frecuentemente oculta las estrellas es la Luna que, moviéndose a través de las constelaciones del Zodíaco, cubre en promedio todos los años una cincuentena de estrellas hasta la sexta magnitud. Debido a la ausencia de atmósfera, tanto la ocultación como la sucesiva reaparición de la estrella detrás del disco lunar son repentinas. Esto permite determinar con gran precisión los instantes de aparición y desaparición y verificar, a través de complicados cálculos, las teorías del movimiento lunar. La Luna oculta ocasionalmente también planetas, satélites, asteroides y fuentes de radio varias; esto permite determinar, en el caso de que no sean bien conocidas, las dimensiones angulares de estos objetos. Mucho más raras, pero posibles, son las ocultaciones entre planetas, como la de Marte que fue cubierto por Venus en 1950.

OGO. Sigla de Orbiting Geophysical Observatory (observatorio geofísico orbital), dada a seis satélites americanos para el estudio de las características físicas de la tierra y del espacio que la rodea. Lanzados entre 1964 y 1969, los satélites OGO, con la típica forma de caja con las antenas dirigidas hacia tierra, realizaron las primeras medidas del campo geomagnético y estudiaron sus interacciones con las partículas de diferentes orígenes provenientes del espacio exterior. Estos son los principales resultados obtenidos por los seis satélites y sus respectivas fechas de lanzamiento: OGO 1 (4 de septiembre de 1964), mapa del campo geomagnético y de los haces de radiación; OGO 2 (14 de octubre de 1965), mapa del campo geomagnético y medida de las radiaciones ultravioletas y X de origen solar; OGO 3 (7 de junio de 1966), estudio del viento solar, de los rayos cósmicos y de las radiaciones de origen terrestre; OGO 4 (28 de julio de 1967), mapa del campo geomagnético, estudio de la ionización atmosférica y de las auroras boreales; OGO 5 (4 de marzo de 1968), ulteriores investigaciones sobre el campo geomagnético y descubrimiento de la nube de hidrógeno alrededor del cometa Bennet; OGO 6 (5 de junio de 1969), estudio de la ionosfera así como de las auroras boreales. Los satélites OGO fueron puestos en órbitas elípticas muy excéntricas, de manera que su apogeo (punto de máxima distancia de la Tierra) se encontrara aproximadamente a un tercio de la distancia Tierra-Luna. Esto permitía a los sensores una amplia visión de la magnetosfera.

OLBERS, Heinrich Wilhelm. 1758- 1840 Astrónomo alemán, descubridor de cinco cometas y de dos asteroides; su nombre está unido también a una famosa paradoja cosmológica. OLBERS puso a punto en 1796 un método para calcular fácilmente las órbitas de los cometas, que fue rápidamente adoptado por los otros astrónomos y ahora es conocido como método de OLBERS. En 1811, época en la que no se conocía la existencia de la presión de radiación, formuló la hipótesis de que la cola de los cometas está siempre dirigida en la dirección opuesta al Sol, porque era acometida por la radiación solar. El 1 de enero de 1802 OLBERS localizó, en la posición prevista por Karl F. GAUSS, el primer asteroide, Ceres, que ya había sido descubierto exactamente un año antes por Giuseppe PIAZZI, y después perdido de vista. Poco tiempo después, siguiendo a Ceres, OLBERS descubrió otro asteroide, Palas, y se convenció de que estaban relacionados con los fragmentos de un cuerpo más grande; por lo tanto buscó otros fragmentos y en 1807 descubrió Vesta. Su hipótesis sobre el origen de los Asteroides se hizo obsoleta.

OLBERS (paradoja de). Tal vez OLBERS sea conocido sobre todo por su paradoja, enunciada en 1826, según la cual el cielo nocturno debería ser, en lugar de oscuro, extremadamente luminoso debido a la luz emitida por todas las estrellas del Universo. El consideraba que la oscuridad nocturna acaso se debía a las nubes de polvo que interceptaban la luz proveniente de las estrellas. Hoy sabemos que el Universo está en expansión (descubrimiento hecho hace un siglo aproximadamente, después de la formulación de la paradoja de Olbers); a causa de esta expansión aumenta la longitud de onda de la luz emitida por las estrellas y disminuye su energía luminosa. Por lo tanto, las estrellas están más alejadas y mayor es la diferencia entre sus luminosidades y la luminosidad que tendrían si el Universo fuera estacionario: de esta manera la paradoja no se sostiene.

OORT, Jan Hendrik. Astrónomo danés, autor de importantes estudios sobre nuestra Galaxia y de otra importante teoría sobre el origen de los cometas. Después de haber estudiado la distribución y el movimiento de las estrellas en nuestra Galaxia, OORT en 1927 determinó su masa total, equivalente aproximadamente a 200 mil millones la masa del Sol, las dimensiones (encontrando para el diámetro el valor de 10.000 AL) y la distancia del Sol desde el centro, equivalente a unos 30.000 AL. En los años de la segunda guerra mundial impulsó el desarrollo de la radioastronomía, gracias a la cual en 1954 su equipo de trabajo pudo publicar un mapa de la Galaxia en el cual se veían los brazos de la espiral determinados por la emisión del hidrógeno. El movimiento del hidrógeno llevó a OORT a la conclusión de que la Galaxia realiza una vuelta completa en 225 millones de años; además, ésta emite desde su núcleo nubes de gas que se comportan como si provinieran de una explosión. En 1950 OORT propuso para el origen de los cometas una interesante teoría: todos ellos provendrían de una gran nube situada en los bordes del sistema solar, a aproximadamente un AL del Sol, y habrían sido impulsadas hacia él como consecuencia de una perturbación gravitacional causada por el paso de una estrella en las proximidades. La hipótesis de la nube o depósito de cometas es hoy ampliamente aceptada.

Oposición. Es la posición de un planeta cuando, respecto al observador terrestre, se encuentra en el cielo opuesto a Sol. En el periodo de la oposición el Sol, la Tierra y el planeta se encuentran aproximadamente a lo largo de una línea recta y en el orden mencionado. Obviamente los planetas

internos a la órbita de la Tierra no pueden encontrarse en oposición: ésta, en efecto, es una posición típica de los planetas externos a la órbita terrestre. La oposición representa el periodo más favorable para la observación de un planeta, porque se encuentra a la mínima distancia de la Tierra.

Órbita. Es la curva descrita por un cuerpo alrededor de su propio centro de atracción. Una órbita adquiere la forma de una Cónica, es decir, de una circunferencia, de una elipse, de una parábola o de una hipérbola. La forma de una órbita depende de la ley de la Gravitación Universal formulada por NEWTON. Los planetas de nuestro sistema solar recorren órbitas elípticas alrededor del Sol.

Orbitales (elementos). Cuando se descubre un nuevo objeto celeste, por ejemplo un asteroide o un cometa, se plantea el problema de determinar las características de su órbita con el fin de ver qué trayectoria seguirá el cuerpo. Con el fin de ejemplificar el problema, al principio no se tiene en cuenta la fuerza de atracción ejercida por los planetas; se supone tener que tratar sólo con el nuevo cuerpo celeste y con el Sol (problema de los dos cuerpos) y se procede al cálculo de la forma de la órbita, de su orientación en el espacio y de la posición que el cuerpo celeste ocupa a lo largo de su órbita en un determinado momento. Para obtener estas informaciones son suficientes seis parámetros llamados elementos de la órbita en un determinado momento. Para obtener estas informaciones son suficientes seis parámetros llamados elementos de la órbita: 1) el semieje mayor, a , de la órbita; 2) la excentricidad, e , de la órbita; 3) la inclinación, i , del plano de la órbita con respecto al plano de la órbita terrestre; 4) el ángulo, ω , (también llamado longitud del nodo ascendente), que se mide sobre el plano de la elíptica y está comprendido entre la dirección del punto y (o primer punto de Aries, un punto de referencia en el que se encuentra el Sol en el Equinoccio de primavera) y la línea a lo largo de la cual el plano de la órbita terrestre intercepta el del cuerpo celeste (línea de los nodos); 5) el ángulo, llamado también argumento del perihelio, que se mide sobre el plano de la órbita del cuerpo celeste y está comprendido entre la línea de los nodos y la recta que une el Sol con el perihelio; 6) la época, T , del paso del cuerpo celeste por el perihelio. Determinados estos parámetros con respecto a los dos cuerpos, se toman luego a examen los efectos gravitacionales de los otros planetas (problema de los 3, 4, 5, ... n cuerpos) y se realizan por lo tanto las necesarias correcciones en los elementos orbitales.

Orión (nebulosa de). Es un cúmulo de gas y polvos que emite una tenue luminosidad a causa de un fenómeno de excitación producido por estrellas que se encuentran en su interior. Se halla en la célebre constelación de Orión, bajo las tres estrellas que forman el cinturón del mítico cazador, y puede observarse fácilmente con binoculares o con un telescopio de poca potencia. La nebulosa aparece como una claridad lechosa en forma de abanico, con un diámetro aparente de alrededor de 20 (seis veces al diámetro de la Luna Llena). Su magnitud integral es de alrededor de 3^m , pero en realidad el objeto no se llega a distinguir a simple vista, si no es en condiciones de visibilidad excepcionalmente buenas, por el hecho de que su luminosidad está distribuida en una superficie muy amplia. En el interior de la nebulosa se notan cuatro estrellas muy próximas, conocidas como el Trapecio de Orión, Orionis), con magnitudes respectivas de 5^m , 4^m , 6^m , 9^m , 7^m y 8^m . Una de ellas es la responsable de los fenómenos de excitación que produce sobre

la nebulosa y que hacen que esta sea visible a nuestros ojos. Distante unos 1.500 AL de nosotros, la nebulosa de Orión tiene un diámetro aproximado de 25 AL y contiene una cantidad de materia equivalente a 10 masas solares. Debido al gran volumen en el que esta masa está distribuida, su densidad media es extremadamente baja, inferior al mejor vacío absoluto que se puede lograr en los laboratorios terrestres. Esta tiene un importante valor cosmogónico, porque se considera que en algunas regiones de la nebulosa estén produciéndose fenómenos de condensación de la materia muy similares a los que acompañaron la formación de nuestra nebulosa solar primordial. La nebulosa de Orión, resumiendo, es una cuna en la que están naciendo nuevas estrellas y tal vez nuevos sistemas solares similares al nuestro. Descubierta en 1610 por el astrónomo francés, discípulo de GALILEO, Nicola Fabri de PEIRESC (1580-1637), la nebulosa de Orión está clasificada en el catálogo Messier bajo la sigla M 42 (correspondiente a NGC 1976). En los últimos años también ha adquirido una gran importancia en lo que respecta a los estudios de Astrobiología, desde el momento que en ella se han localizado moléculas orgánicas interestelares.

Orión (Proyecto). Es el nombre de un proyecto americano para la construcción de la primera astronave atómica destinada a vuelos interplanetarios. Desarrollado principalmente entre 1958 y 1959, el proyecto Orión sobrevivió hasta 1965, pero después fue suspendido por resultar irrealizable. En un principio fue confiado a un grupo de valiosos científicos, entre los que se encontraba el físico Freeman Dyson (1923), quienes análogamente a lo que sucedió con el proyecto para la realización de la primera bomba atómica, se aislaron en un polígono de la Marina Militar en Punta Loma (una península que se extiende sobre el Pacífico no muy lejos de la ciudad de San Diego, California), para poner a punto los planes de construcción de la astronave y efectuar los primeros experimentos. Según los cálculos, una sucesión de pequeñas explosiones nucleares le imprimirían a la astronave el empuje necesario para despegar de Tierra y adquirir la velocidad de fuga. Con este método se quería obviar el inconveniente del excesivo costo necesario para el desarrollo de los grandes misiles de propulsor químico. Precisamente en aquellos años VON BRAUN había comenzado a realizar su poderoso Saturno y se dio cuenta de que, debido a los costos del transportador, la exploración de la Luna no se continuaría y que para la exploración de los planetas sería necesario diseñar un vehículo más eficiente y económico que el supercohetes químico. En el proyecto teórico, la astronave Orión de propulsor nuclear tenía un rendimiento energético, a masas iguales, equivalente a un millón de veces superior al de las otras astronaves y un costo decididamente inferior. El objetivo de los diseñadores era realizarla a mediados de los años 60, para efectuar el primer viaje a Marte en 1968 y el primer viaje al sistema de Saturno en 1970. También se llevaron a cabo lanzamientos de prueba con modelos a escala reducida, algunos de los cuales, por cuanto se ha visto que el programa estaba bajo la cobertura de secreto militar, fueron coronados por el éxito. Después de apenas dos años de trabajo, el gobierno americano no sostuvo más esta empresa. Contribuyó evidentemente al hecho de que el despegue de astronaves como estas desde tierra habrían contaminado la atmósfera de residuos nucleares. Se pensó entonces en una combinación híbrida: una primera sección formada por un Saturno con propulsor químico y la astronave Orión colocada en la sección final, de modo que su ascensión se produciría en el espacio exterior. Sin embargo, esto anulaba los beneficios

económicos provenientes del uso exclusivo del propulsor nuclear. Descartada así esta idea, a comienzo de los años 60 el proyecto fue quitado de las manos al grupo de científicos civiles y pasó íntegramente bajo la gestión de los militares que, en 1965, lo eliminaron definitivamente del programa de desarrollo astronáutico. La idea de una astronave a energía nuclear ha sido tomada recientemente por la British Interplanetary Society con el proyecto Dédalo.

Oriónidas. Lluvia anual de estrellas fugaces, llamadas de esta manera porque parecen irradiarse de la homónima constelación. Se hacen visibles entre el 11 y el 30 de octubre de cada año, con un máximo de frecuencia el 19 del mismo mes. Están provocadas por detritus dejados a lo largo de su propia órbita por el cometa Halley. Este da lugar a dos lluvias anuales de estrellas fugaces, correspondientes a dos intercepciones de su órbita con la terrestre; la otra lluvia es la de las Acuáridas, que puede observarse entre el 29 de abril y el 31 de mayo con un máximo de frecuencia el 5 de mayo.

OSCAR. Sigla de una serie de satélites para radioaficionados, de las primeras letras de Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio. Se trata de pequeños satélites construidos por organizaciones privadas de radioaficionados americanos, que han obtenido un billete a bordo de lanzadores destinados a la puesta en órbita de otros satélites más importantes OSCAR 1, lanzado el 12 de diciembre de 1961 contenía un simple transmisor para el estudio de la propagación de las ondas sobre la banda de aficionados de 2m (144 - 146 megaciclos), que podía ser captada también por los poseedores de una pequeña estación receptora. OSCAR 3, llevaba a bordo un repetidor, para permitir así los primeros contactos vía satélite entre estaciones de radioaficionados, siempre en la banda de los 2 m. OSCAR 4, cumplía la misma función que su predecesor, tanto en los 2 m como en los 70 cm. OSCAR 5, puso en órbita un transmisor para los 2 m y otro para los 10 m, mientras OSCAR 6 aseguró las comunicaciones entre los radioaficionados sobre las mismas bandas. La serie fue continuada ampliando cada vez más el número de frecuencias disponibles y el tiempo para los experimentos de diálogo vía satélite. En el futuro, los radioaficionados intentan realizar también una red de satélites OSCAR geoestacionarios.

Oscurecimiento en el borde. Observando el Sol con un telescopio (obviamente provisto de filtro), se nota una disminución de su luminosidad a medida que se pasa del centro hacia la periferia del disco. Este fenómeno, llamado de oscurecimiento del borde, está causado por el hecho de que los rayos provenientes del borde atraviesan oblicuamente la atmósfera solar antes de llegar a nosotros y, debido a la absorción experimentada por ésta, aparecen menos luminosos.

Oso. Siglas de Orbiting Solar Observatory, utilizadas para denominar ocho satélites lanzados por la NASA para el estudio del Sol y de sus efectos sobre el espacio circundante.

OTS. Siglas de Orbital Test Satellites. Se trata de un satélite experimental para telecomunicaciones, lanzado en 1978 por la ESA (European Space Agency) con el fin de poner a disposición de las administraciones de correos y telecomunicaciones europeas un banco de pruebas para los tests de tráfico telefónico y televisivo a nivel intercontinental. Si-

tuado en una órbita geoestacionaria encima de Europa, el OTS representa el prototipo de una red de cuatro satélites telefónicos y televisivos que debería ser completado antes de 1990. Las comunicaciones con el OTS han sido aseguradas en cada país, por un sistema de antenas junto a una estación elaboradora de datos.

Ozono. Es una forma particular de oxígeno caracterizada porque la molécula de ozono contiene tres átomos de oxígeno en lugar de dos, de donde surge su otro nombre de trióxígeno (O_3). El ozono alcanza elevadas concentraciones en la estratosfera, más allá de los 20 km de altura, donde se forma naturalmente por efecto de la radiación ultravioleta solar sobre las moléculas de oxígeno contenidas en el aire. En este proceso casi toda la radiación ultravioleta solar es absorbida y por lo tanto no llega a la superficie de la Tierra. Esto representa una suerte para la vida en nuestro planeta, que de otra manera no habría podido ni siquiera nacer, ya que las radiaciones ultravioletas son letales para cualquier forma de vida. Desde el punto de vista astronómico, en cambio, es una gran limitación, porque los instrumentos en tierra resultan ciegos con respecto a las informaciones transmitidas desde la banda ultravioleta del espectro electromagnético. Para obviar este inconveniente, son puestos en órbita observatorios astronómicos con adecuados instrumentos capaces de captar la radiación ultravioleta.

P

Pad. Palabra americana que en lenguaje misilístico indica la zona en que se produce el lanzamiento de un cohete. Mientras pad se refiere a la zona en la cual se encuentra la rampa de lanzamiento, la palabra cómplex comprende las estructuras circundantes como los servicios, la casamata, etc. De las operaciones que se llevan a cabo dentro del pad, es responsable un pad chief.

Pallas. Es el segundo asteroide que se descubrió después de Ceres, por parte del astrónomo William OLBERS, el 28 de marzo de 1802. Pallas gira alrededor del Sol en 4,61 años, en una órbita bastante excéntrica inclinada unos 43° con respecto a la de la Tierra. Tiene un diámetro de 538 km y una masa equivalente a $4 \cdot 10^{17}$ toneladas. Desde el punto de vista de la composición se considera que es análogo a un meteorito de la clase de los condritos carboniosos. En sus máximos acercamientos a la Tierra. Pallas alcanza una luminosidad aparente de 6^m y, en condiciones de cielo particularmente oscuro, puede ser observado bastante bien a simple vista.

Parábola. Es una órbita típica de un objeto que no está vinculado a un centro de gravedad y que viaja a una velocidad, llamada de fuga, que le es necesaria para librarse del campo gravitacional. Por ejemplo, realizan órbitas parabólicas las sondas espaciales interplanetarias que deben escapar al campo gravitacional de la Tierra, con el fin de dirigirse hacia los planetas. Desde el punto de vista geométrico la parábola pertenece a la familia de las Cónicas.

Paraboloide. Es una superficie sólida que se puede imaginar obtenida haciendo rotar una parábola alrededor del propio eje de simetría. Un espejo cóncavo de un telescopio o la pantalla de una antena para radioastronomía tienen una superficie con forma de paraboloide. Las radiaciones provenientes de una fuente lejana, interceptadas por un paraboloide, son concentradas en un punto denominado foco.

Paralaje. Es un fenómeno que consiste en el desplazamiento aparente de una estrella cercana sobre el fondo de otras estrellas más lejanas, a medida que la Tierra se mueve a lo largo de su órbita alrededor del Sol. Este fenómeno ha sido aprovechado como el primer y más simple método para la medida de las distancias estelares. Hay un modo muy sencillo de comprender prácticamente qué es la paralaje: basta con tener el dedo índice de la mano recto delante de los ojos y cerrar alternativamente una vez el ojo derecho y otra el izquierdo; se tendrá entonces la neta sensación de que nuestro dedo se desplaza con respecto a los objetos que están en el fondo. Un fenómeno idéntico se produce cuando medimos la posición de una estrella cercana en dos momentos del año, a seis meses de distancia el uno del otro, es decir, cuando la Tierra se encuentra en los dos extremos opuestos de su órbita. Conocida la línea de base (el diámetro de la órbita terrestre) y el ángulo determinado por el desplazamiento aparente, es fácil conocer la distancia del objeto observado, aplicando una fórmula elemental de trigonometría. El método de medida de las distancias astro-

nómicas por medio de la paralaje es aplicable solamente a estrellas relativamente próximas, hasta algunos centenares de años luz. Para estrellas más lejanas, los ángulos de paralaje se van haciendo cada vez más pequeños e imperceptibles. También podemos comprender este fenómeno de una manera sencilla alejando el dedo de nuestros ojos y observando que el desplazamiento aparente sobre el fondo disminuye con la distancia. Para objetos muy lejanos los astrónomos abandonan por lo tanto el método de la paralaje y recurren al de las Cefeidas o del Desplazamiento hacia el rojo. Una de las primeras aplicaciones del método de la paralaje fue efectuada por Tycho BRAHE, quien descubrió en el lejano 1578 que los cometas no son fenómenos atmosféricos como entonces pensaba la mayoría de los astrónomos, sino objetos celestes lejanos a la Tierra. La primera medida de distancia estelar fue realizada por Friedrich BESSEL en 1838, sobre la estrella 61 Cygni; ese mismo año el astrónomo escocés Thomas HENDERSON medía, siempre con el método de la paralaje, la distancia de α Centauri, la estrella más cercana al Sol.

Parkes (observatorio radioastronómico). Gran observatorio para estudios de radioastronomía situado a 24 km al Norte de Parkes, en Australia. El principal instrumento de recepción de las señales está constituido por una gran antena con forma de paraboloide, de 64 m de diámetro, en funcionamiento desde 1961. Gracias a ella se han descubierto numerosas especies de Moléculas interestelares. El complejo está dirigido por un instituto científico llamado CSIRO, iniciales de Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation.

Parsec. Es el nombre de una unidad de medida astronómica correspondiente a la distancia que habría a una estrella que tuviera una paralaje de un segundo. Un parsec equivale a 30.870 trillones de kilómetros o bien 3.26 años luz. Múltiplos del parsec son el kiloparsec, equivalente a mil parsec y el megaparsec, equivalente a un millón.

Pegasus. Nombre del caballo alado de la mitología griega, dado a tres satélites americanos para el estudio de los micrometeoritos que se desplazan en las proximidades de la Tierra. En los primeros años de la década de los sesenta, cuando el hombre había llevado a cabo sus primeras y cautas exploraciones en órbita terrestre, los científicos no sabían aún cuál era la entidad del peligro representado por las pequeñas partículas procedentes de la desintegración de los muchos kilómetros por segundo, constituyendo, en caso de impacto con una astronave, un verdadero proyectil. Fue precisamente para verificar la frecuencia y la distribución de los micrometeoritos alrededor de la Tierra, en previsión de la intensificación de la exploración humana y de la construcción de estaciones espaciales orbitales, que la NASA diseñó los tres satélites Pegasus, caracterizados por dos enormes paneles que ofrecían una amplia superficie a los golpes de las partículas. El Pegasus 1 fue lanzado el 16 de febrero de 1965; el Pegasus 2, el 25 de mayo de 1965; el Pegasus 3, el 30 de julio de 1965. Los tres funcionaron

durante tres años y demostraron que el riesgo de que una astronave fuera golpeada por un micrometeorito era completamente insignificante.

Penumbra. Es una zona de sombra parcial que se forma alrededor del cono de sombra de la Tierra; está caracterizada por el hecho de que un hipotético observador, encontrándose en ella, sólo vería una parte del Sol. Así, durante los eclipses de Luna, hay regiones cubiertas de sombra y otras de penumbra. También hay eclipses lunares solo de penumbra, en los que la diferencia de luminosidad de la superficie lunar es casi imperceptible a simple vista, mientras que se puede evidenciar mejor con la observación fotográfica.

Perigeo. Es el punto en el cual un objeto celeste que gira alrededor de la Tierra se encuentra a su mínima distancia de nuestro planeta. El punto de distancia máxima es el Apogeo. Cuando la órbita de un cuerpo que gira alrededor de la Tierra es casi circular, no hay gran diferencia, en términos de distancia, entre el perigeo y el apogeo; en cambio cuando es relativamente elíptica, la distancia es más marcada. La Luna, por ejemplo, cuya órbita tiene una Excentricidad de 0,0549, tiene en el perigeo una distancia de la Tierra de 356.410 km; en el apogeo de 406.740 km. Estos dos puntos extremos de la órbita se llaman Ápsides.

Perihelio. Es el punto en el cual un objeto celeste que gira alrededor del Sol se encuentra a la mínima distancia de él. El punto de máxima distancia de un cuerpo al Sol se llama, en cambio, Afelio. Por ejemplo, la Tierra llega al perihelio todos los años a principios de enero: la distancia desde el Sol es de 147.090.000 km.

Periodo. Se distinguen un periodo de revolución, que es el tiempo empleado por un cuerpo celeste en efectuar una vuelta completa de su órbita, y un periodo de rotación, que es el tiempo empleado por un cuerpo celeste en realizar una vuelta completa alrededor de su propio eje. En el caso de los planetas, cuanto mayor es su distancia del Sol (y por lo tanto mayor del circuito de su órbita), más largo será el periodo de revolución. El periodo de rotación, en cambio, es independiente de la distancia del Sol y estuvo condicionado, en los tiempos de la formación de los propios planetas, por factores dinámicos.

Perseidas. Enjambre anual de meteoros provenientes de la desintegración del cometa Swift-Tuttle (1862111), que puede observarse desde el 20 de julio al 19 de agosto, con un máximo de intensidad en la noche de San Lorenzo, entre el 10 y el 11 de agosto. Las Perseidas deben su nombre a que parecen irradiarse desde la constelación de Perseo. Además de ser la lluvia de estrellas fugaces más espectacular, tienen una notable importancia histórica porque representan el primer caso de correlación que vio la luz entre cometas y estrellas fugaces. En 1862 dos astrónomos, Swift y Tuttle, habían descubierto un espléndido cometa, que realizaba una larga órbita alrededor del Sol con un periodo de 120 años, que fue llamado precisamente cometa Swift-Tuttle en honor a sus descubridores (o también 1862 III, porque fue el tercer cometa descubierto ese año). Algún tiempo después, el astrónomo italiano Virginio SCHIAPARELLI (1835-1910), estudiando la órbita del cometa, se dio cuenta que la Tierra cada año intercepta su órbita precisamente en el periodo que se ven aparecer las estrellas fugaces Perseidas. Formuló entonces la hipótesis de que los meteoros no son otra cosa que partículas sólidas que el

cometa, desintegrándose por efecto del calor solar, va dejando tras de sí. Casi al mismo tiempo, el astrónomo italiano encontró también una correlación entre las estrellas fugaces de mitad de noviembre, llamadas Leónidas, y el cometa de Temple-Tuttle (1866 I). Desde ese momento, fue evidente que muchas lluvias anuales de meteoritos provienen de residuos cometarios. La intensidad de las Perseidas, como de otros enjambres de meteoros, puede variar de un año a otro, según la Tierra se encuentre con un banco más o menos denso de detritos que, chocando contra la atmósfera, producen las características trazas luminosas. Gran parte de las imágenes fotográficas de las Perseidas, como de otros enjambres meteóricos, se debe a la apasionada labor de los astrófilos.

Perturbaciones. Son pequeñas oscilaciones en el movimiento de un cuerpo celeste, producidas por la fuerza gravitacional ejercida por un astro próximo. El estudio de las perturbaciones aparentemente anómalas tiene una notable importancia, porque ha permitido a veces reconocer objetos invisibles perturbadores y descubrir nuevos cuerpos celestes. Fueron las perturbaciones observadas en el movimiento de Urano las que condujeron a la localización de Neptuno. Análogamente, las perturbaciones observadas en los movimientos de estrellas lejanas, nos informan de la presencia de compañeras invisibles o de planetas que están en órbita alrededor de ellas.

PIAZZI, Giuseppe. 1746-1826 Astrónomo italiano, conocido sobre todo por haber descubierto el primer asteroide. PIAZZI fundó y dirigió, a partir de 1790, el Observatorio astronómico de Palermo. Fue allí donde el 1 de enero de 1801, observó por primera vez un objeto celeste similar a una estrella, pero no citado en los catálogos estelares. PIAZZI comenzó a seguirlo y pudo observar que se desplazaba en el cielo como un cometa o un planeta menor. Pasado poco más de un mes, debió interrumpir las observaciones a causa de una enfermedad. Cuando las reemprendió, el pequeño planeta, al que se le había dado el nombre de Ceres, ya no era visible, evidentemente porque se había acercado demasiado al Sol. El gran matemático K. F. GAUSS logró, sobre la base de los pocos datos recogidos por PIAZZI, calcular su órbita, situada entre la de Marte y la de Júpiter, y predecir sus sucesivas posiciones; así Ceres, exactamente un año después de su descubrimiento, fue localizado nuevamente por OLBERS. Desde aquel momento, el número de planetas menores (o asteroides) ha crecido hasta los cerca de dos mil conocidos actualmente (al número mil, descubierto en el año 1923, se le dio el nombre de PIAZZI). Hoy se considera que los planetas menores son materia de la época en que se formaron los planetas. PIAZZI también fue autor de un catálogo estelar muy preciso, que comprendía 7.646 estrellas. Una curiosidad: PIAZZI era un religioso perteneciente a la orden de los teatinos, una congregación fundada en Roma en 1524.

Pic du Midi (observatorio). Fundado en 1882, el observatorio de Pic du Midi fue uno de los primeros complejos astronómicos situados a grandes alturas. Se levanta en los Pirineos franceses, a 2.862 m de altura, y está dirigido por la Universidad de Toulouse. Aquí, el inventor del Coronógrafo, Bernard Lyot, instaló su instrumento en 1930. Hoy el observatorio dispone de un reflector de 2 cm de diámetro.

Pickering, Edward Charles. 1846-1919 Astrónomo americano, autor de numerosos e importantes trabajos,

sobre todo en el campo de la astrofísica. PICKERING se sirvió del fotómetro meridiano para comparar la luminosidad de una estrella cualquiera con la de la Estrella Polar, cuya magnitud se toma como referencia. A finales del siglo XIX publicó un primer catálogo fotométrico comprendiendo más de 4.000 estrellas, pero este número superó las 50.000 en un gran catálogo publicado sucesivamente. Convencido de la utilidad de la fotografía en el estudio de las estrellas, emprendió a comienzos de este siglo la publicación de una importante serie de mapas celestes, obtenidos con fotografías realizadas tanto por el observatorio de Harvard que él dirigía, como por el de Arequipa en Perú. También PICKERING dio gran impulso a los estudios espectroscópicos. En los años veinte su grupo recopiló el inmenso Catálogo Henry Draper, del nombre del rico astrónomo aficionado cuya viuda hizo posible la realización del trabajo. Este contenía inicialmente los espectros de más de 225.000 estrellas, que luego subió a 250.000 con los sucesivos agregados. Este trabajo permitió la subdivisión de todas las estrellas en diez clases, precisamente de acuerdo con sus espectros, ampliando el conocimiento de su naturaleza y evolución.

PICKERING, William Henry. 1858-1938 Astrónomo americano, hermano de Edward Charles. Mientras trabajaba en el observatorio peruano de Arequipa, que había contribuido a crear, descubrió en 1898 el noveno satélite de Saturno, Febe. En 1905 informó también de un décimo satélite, que denominó Temide, pero éste nunca volvió a ser visto y se piensa que lo que PICKERING vio en la fotografía tomada entonces no era un satélite de Saturno. A partir de 1909 PICKERING se dedicó a buscar el planeta exterior a Neptuno, cuya existencia era inducida por las perturbaciones de la órbita del propio Neptuno. El observatorio de Mont Wilson, que trabajaba con sus cálculos, obtuvo en 1919 fotografías en las que aparece el nuevo planeta; sin embargo, lamentablemente, nadie supo interpretarlas correctamente y así este éxito se le escapó a W. PICKERING, lo que nos disminuye su mérito. Plutón fue descubierto en 1930 por Clyde TOMBAUGH.

Pioneer. Serie de sondas espaciales americanas que, por cuenta de la NASA, ha comenzado la exploración del espacio interplanetario. Diseñadas hacia finales de años 50, las primeras cuatro sondas Pioneer fueron destinadas a la exploración del espacio circumlunar, pero fracasaron en su objetivo; a partir del Pioneer 3, las sondas fueron enviadas hacia los espacios interplanetarios, donde efectuaron importantes medidas del campo magnético y de las radiaciones solares, en algunos casos fotografiando los planetas. Pioneer 10 fue la primera sonda interplanetaria en realizar un encuentro próximo con Júpiter, en diciembre de 1973. Unos diez años después, en junio de 1983, se constituyó también en el primer objeto construido por el hombre que abandonó los confines del sistema solar dirigiéndose hacia el espacio exterior. Esta sonda, así como su gemela Pioneer 11, llevaba a bordo una lámina de aluminio dorado de 15 x 3 cm que tiene inscritas algunas informaciones sobre el género humano: allí están el lugar, la época y dos figuras humanas de hombre y mujer, números binarios, fórmulas concernientes a la física de las partículas elementales, el dibujo del propio Pioneer y nuestro sistema solar. Esta placa se ha definido como un mensaje dentro de una botella espacio-temporal, que tarde o temprano podría ser encontrado por lejanas civilizaciones galácticas.

PITÁGORAS. 580-500 a. J. C., aprox. Gran matemático y filósofo griego, nativo de Samos y fundador de una célebre escuela en la Italia Meridional, en la llamada Magna Grecia. A PITÁGORAS y a su escuela se deben fundamentales logros en el campo de la geometría y en el de la aritmética (basta citar el teorema de Pitágoras y el descubrimiento de los números irracionales). Los pitagóricos, sin embargo, también se interesaban en la física y en la astronomía con resultados a veces notables: por ejemplo, fueron los primeros en relacionar la altura del sonido con la longitud de la cuerda que lo produce. Consideraban, tal vez por razones de perfección geométrica, que la Tierra era de forma esférica y, para explicar los movimientos aparentes de los astros, imaginaron una enorme esfera girando alrededor de la Tierra con un periodo de un día. Entre esta, conteniendo las estrellas fijas, y la Tierra se interponían otras siete esferas con la Luna, Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter y Saturno. Cada una, al rotar, producía una nota musical, surgiendo así la famosa música de las esferas. Este sistema fue tomado y llevado a un mayor grado de perfeccionamiento y complejidad por EUDOXIO de Cnido.

Planeta. Esta palabra deriva de una griega que quiere decir errante, y se trata de un cuerpo que no emite luz propia, sino que brilla en el cielo por luz reflejada, y que está en órbita alrededor de una estrella. Desde un punto de vista físico, un planeta puede estar formado por materiales sólidos, como rocas y metales, o bien por un cúmulo de gas. Desde un punto de vista genético, hoy se piensa que los planetas se forman por procesos de condensación de gases y polvos alrededor de una o más estrellas. Nuestro Sistema Solar no sería por lo tanto un caso único, sino uno de los muchos existentes en el Universo. El límite superior de materia que puede estar contenida en un planeta es del 1 % con respecto a la masa de nuestro Sol (es decir unas 10 veces la masa de Júpiter, el mayor planeta de nuestro sistema solar). Además de este límite, las temperaturas y las presiones que se crean en el interior del cuerpo serían suficientes como para hacer desencadenar procesos nucleares, y el planeta se transformaría progresivamente en una estrella. Cuerpos con dimensiones de algunos centenares de km son en cambio llamados Asteroides o Planetas Menores; y cuerpos aún más pequeños entran en la clase de los Meteoritos y Micrometeoritos. Todos estos fragmentos menores se pueden considerar como los restos de procesos formativos de nuestro sistema solar, o bien como los fragmentos de acontecimientos colisionales.

Planetas menores. Nombre que suele darse a una clase de objetos menores del sistema solar, con dimensiones inferiores a los 1.000 km, los cuales por lo general se encuentran confinados entre las órbitas de Marte y Júpiter, entre 2,2 y 3,3 UA del Sol. Son también conocidos con el término de Asteroides.

Planetesimales. Nombre dado a los agregados de materia de los que nacieron, después de un lento proceso de crecimiento, los planetas. Según la hipótesis nebular del nacimiento del Sistema Solar, en una primitiva nebulosa de gases y polvos en forma de disco, las partículas sólidas más grandes actuaron como centros de atracción para las más pequeñas: estas son precisamente los planetesimales que dieron vida a los embriones los cuales después se desarrollaron los planetas que hoy vemos en órbita alrededor del Sol.

Planetología. A caballo entre la astronomía y la geología, la planetología es una disciplina de reciente creación. Fecundada por la gran masa de informaciones recogidas en el curso de las exploraciones espaciales, la planetología estudia el origen y la evolución de los planetas de los mecanismos que en el tiempo han modelado sus superficies.

Plasma. Es un gas en condiciones físicas particulares, cuyos átomos han sido rotos en sus respectivos núcleos (iones positivos) y electrones (iones negativos) El plasma es por lo tanto un buen conductor de electricidad y resulta bastante sensible a los campos magnéticos. La mayor parte del gas que hay en el espacio se encuentra en estado de plasma: a estas condiciones es llevado bien por efecto de las altas temperaturas que se registran en la proximidad de las estrellas (al aumentar la temperatura de un gas, los átomos chocan uno contra otro y están sujetos a romperse en sus constituyentes fundamentales), bien por efecto de las radiaciones de alta energía, como los rayos ultravioletas. Por ejemplo el Viento solar es un plasma.

Plesetsk. Nombre de un polígono de lanzamiento soviético situado casi en el Círculo Polar Ártico, a 170 km al Sur de la ciudad de Arcángelo. Puesta en actividad en 1966 para los lanzamientos de la serie Cosmos, la base de Plesetsk se ha convertido en una de las más importantes de la URSS, porque de allí son lanzados los satélites puestos en órbitas polares o con una elevada inclinación con respecto al Ecuador terrestre.

Pléyades. Es un sugestivo Cúmulo estelar, hermoso de contemplar incluso a simple vista en condiciones favorables. Normalmente a simple vista se distinguen seis o siete estrellas, pero quien tenga una visión aguda puede ver más. El astrónomo Michael MAESTLIN dibujó en 1579, treinta años antes de la invención del telescopio, un mapa de las Pléyades con la posición correcta de 11 de sus componentes. De todos modos, las estrellas del cúmulo son muchas más: superan el centenar. Las Pléyades distan unos 400 AL de la Tierra y están contenidas en una esfera de una treintena de AL de diámetro. Este cúmulo, que en la antigüedad era también llamado las siete hermanas, está formado por estrellas muy jóvenes, nacidas no hace más de 50 millones de años (un periodo breve de vida comparado con los 5 mil millones de años de nuestro Sol); están inmersas en una tenue nebulosidad de gases y polvos, que representa la nebulosa de la que se han condensado las estrellas del cúmulo. Vistas con un telescopio de mediana potencia, tanto las estrellas como la nebulosa parecen emitir una luz azulada. La más luminosa de las Pléyades se llama Alcyone (Tauri) y tiene una magnitud de $2,96^m$. Desde el punto de vista estructural, el grupo de las Pléyades está clasificado entre los cúmulos abiertos o galácticos, es decir aquellos cúmulos de estrellas que se encuentran en el plano central de nuestra Galaxia y que están caracterizados por una densidad de estrellas un centenar de veces más elevada respecto a la que se encuentra en las regiones circundantes al Sol.

Plutón. Es conocido como el planeta más remoto del Sol, aunque no siempre está relegado a las regiones extremas de nuestro sistema solar. En efecto, durante veinte años, desde 1979 a 1999, Plutón se encontrará en el interior de la órbita de Neptuno, cediendo a este último la primacía de planeta más alejado; por otra parte, no todos los estudiosos están de acuerdo con su naturaleza: según algunos Plutón es un satélite escapado de Neptuno; según otros, incluso es un

asteroide. Por lo tanto de Plutón puede decirse que se trata de un cuerpo aún no bien definido. El descubrimiento. Plutón es el fruto de una larga búsqueda, pero su descubrimiento se debe a la casualidad. Después del descubrimiento de Neptuno, encontrado en el cielo en 1846 gracias a los cálculos de J. C. ADAMS y U. J. LEVERRIER, quienes habían deducido su existencia a partir de la irregularidad en el movimiento de Urano, los astrónomos pensaron repetir una empresa de ese tipo. El propio Neptuno mostraba anomalías orbitales que podían ser explicadas con la presencia de un noveno planeta más allá de su órbita. Las investigaciones, a las que contribuyeron fundamentalmente los astrónomos Percival LOWELL y William PICKERING, se desarrollaron durante muchos años sin resultados. Finalmente correspondió a Clyde TOMBAUGH localizar, el 18 de febrero de 1930, el lejano cuerpo celeste sobre algunas fotografías tomadas con el telescopio de 33 cm del Lowell Observatory de Arizona. Plutón fue el primer planeta en ser descubierto gracias al empleo de la fotografía aplicada a la observación astronómica. Sin embargo, inmediatamente después de su descubrimiento, se llegó a la conclusión de que el cuerpo celeste era demasiado pequeño para causar las perturbaciones observadas en Neptuno. Por lo tanto, era probable que las anomalías fueran fruto de errores instrumentales. De cualquier modo, este hecho estimuló mucho la investigación. Aunque el descubrimiento de Plutón no había sido previsto como el de Neptuno, considerándose más hijo de la casualidad que del cálculo, no hay dudas de que las hipótesis de LOWELL y de otros anticiparon el momento de su encuentro. Características orbitales. Plutón está a una distancia media de 5.900.000.000 km del Sol pero su órbita es extraordinariamente excéntrica con respecto a las de los otros planetas del sistema solar ($e = 0,250$, la máxima excentricidad hasta ahora determinada en una órbita planetaria), por lo cual el planeta se acerca al Sol hasta 4.425.000.000 km y se aleja de él hasta 7.375.000.000 km. También la inclinación de su órbita con respecto al plano de la órbita terrestre es la mayor que existe para un planeta: 17 grados con dos décimas. Plutón emplea 247,7 años para realizar una vuelta completa a rededor del Sol, y no volverá a la misma posición en la órbita donde fue descubierto hasta el año 2177. Es precisamente a causa de la excentricidad de su órbita que Plutón, cuando se acerca al perihelio (punto de mínima distancia del Sol), pierde la primacía de planeta más alejado, porque entra dentro de la órbita de Neptuno. En la realidad, sin embargo, las órbitas de ambos planetas no se cruzan, porque la de Plutón es, como hemos dicho, muy inclinada y por lo tanto desfasada con respecto a la de Neptuno. La rotación de Plutón alrededor de su propio eje es bastante lenta y la realiza en seis días y nueve horas. Características físicas. Debido a la enorme distancia del planeta, poco se sabe de su aspecto exterior, sus medidas fundamentales se han deducido con alguna inexactitud. Las determinaciones del diámetro efectuadas en 1950 por G. Kuiper a través del gran telescopio de Monte Palomar, daban un resultado de 6.400 km; pero las más recientes indican que Plutón es mucho más pequeño. Hoy se le atribuye un diámetro entre 2.400 y 3.800 km: por lo tanto, Plutón sería un mundo de dimensiones lunares, lo que para un planeta exterior es realmente singular (los planetas desde Júpiter en adelante son, con la excepción de Plutón de los llamados gigantes). En la segunda mitad de los años 70 ha sido posible llevar a cabo precisas observaciones espectroscópicas de la luz reflejada por Plutón: por esta vía se ha obtenido la confirmación de que la superficie del planeta está compuesta de metano en estado de hielo, a temperaturas inferiores a los 200 °C bajo cero. Parece tam-

bién existir la evidencia de una delgada atmósfera de metano en estado gaseoso, proveniente de la sublimación de los hielos por efecto del tenue calor solar, que se hace sentir cuando Plutón se encuentra en el perihelio. Si nos encontráramos en Plutón, el Sol se nos aparecería sólo como una estrella muy luminosa y, sin embargo, sus radiaciones serían suficientes para hacer pasar algunas partículas de hielo del estado sólido al gaseoso. Tampoco los valores de la masa, y por lo tanto de la densidad, de Plutón se conocían con mucha aproximación hasta hace algunos años. Pero en 1977 se hizo un descubrimiento que ha contribuido a un mejor conocimiento al menos de las características físicas esenciales del planeta. El astrónomo Christy, examinando una serie de fotografías obtenidas con el telescopio de 1,5 m del US Naval Observatory de Flagstaff (Arizona), notó que en algunas de ellas el planeta mostraba una protuberancia que cambiaba de posición con el transcurrir de las horas. Se trataba en realidad de un satélite, que se encuentra en una órbita bastante estrecha alrededor de Plutón, y al que se le ha dado el nombre de Caronte. La distancia media, de centro a centro, de Caronte a Plutón es de apenas 17.000 km. El diámetro de Caronte ha sido estimado en alrededor de la mitad con respecto al de Plutón, y su período de revolución alrededor del planeta es de 6,39 días, es decir, idéntico al período de rotación de Plutón alrededor de su propio eje. El descubrimiento de Caronte, además de enriquecer el cuadro del sistema solar con el conocimiento de un nuevo cuerpo celeste, ha sido importante porque ha permitido, aplicando las fórmulas de la mecánica celeste, rehacer los cálculos sobre la masa de Plutón. De ello ha resultado que el planeta pesa alrededor de dos milésimas con respecto a la masa de la Tierra: por lo cual, conocido su volumen, puede deducirse que su densidad media es muy baja, cercana a la del agua. Origen. Todos los datos a que hemos hecho referencia confluyen para hacer de Plutón un mundo verdaderamente problemático. De acuerdo con algunos astrónomos, más que de un planeta se trata de un satélite, probablemente huido de Neptuno por algún acontecimiento catastrófico. Otra teoría es que Plutón sea uno de los miembros mayores de una familia de Asteroides similares a la existente entre Marte y Júpiter, confinada más allá de la órbita de Neptuno. En este caso deberemos esperar a que se descubran en el futuro decenas o tal vez centenares de miembros de esta familia. El hecho de que Plutón tenga su satélite, dicen los sostenedores de esta tesis, no invalida la hipótesis de Plutón-asteroide, ya que algunos de los asteroides tienen cuerpos que giran a su alrededor. En 1977 se descubrió un asteroide muy lejano, que sirve para apoyar la existencia de cuerpos asteroidales también en las regiones extremas del sistema solar. Se trata de Quirón, un cúmulo de roca y hielo de unos 300 km de diámetro, que gira alrededor del Sol entre las órbitas de Urano y Saturno. Los extremos confines del sistema solar, por lo tanto, podrían esconder nuevos mundos que, a causa de sus pequeñas dimensiones, no vemos desde la Tierra, pero que podrían ser localizados fuera de la atmósfera terrestre por una nueva generación de sondas espaciales.

Poblaciones estelares. De acuerdo con una clasificación introducida por Walter BAADE (1893-1960), las estrellas pueden subdividirse en dos categorías según su edad: la Población I que comprende a estrellas jóvenes; y la Población II que comprende estrellas viejas. BAADE llega a esta distinción observando que las galaxias lejanas, como Andrómeda, tienen un halo circular caracterizado por estrellas rojas viejas (Población II) y brazos en espiral caracterizados por estrellas más jóvenes (Población I). En realidad la

distinción no es tan neta; aunque la clasificación de BAADE todavía esté en uso. Las estrellas viejas de la Población II se han formado hace alrededor de diez mil millones de años, cuando las galaxias comenzaban a condensarse y en su interior nacían las primeras estrellas. En aquellos tiempos, los brazos en espiral no se habían aún formado y las estrellas, hoy transformadas en rojas, se encuentran aproximadamente en un halo de forma circular. Las estrellas jóvenes de la Población I se encuentran, en cambio, en una capa delgada que coincide con el plano galáctico, en el cual están acumulados gases y polvos: de los procesos de condensación aún en curso, nacen precisamente los nuevos astros que se hacen visibles bajo la forma de estrellas azules.

Poder de resolución. En el caso de un telescopio, se dice poder de resolución a la distancia angular mínima a la que dos cuerpos celestes lejanos, o bien dos elementos geográficos sobre la superficie de un planeta, pueden distinguirse uno del otro. Cuanto mayor es el diámetro del objetivo de un telescopio, mayor será su poder de resolución. Para calcular el poder de resolución de un objetivo se aplica la fórmula empírica establecida por el astrónomo W. R. DAWES, que consiste en una simple división del número fijo 115 por el diámetro del objetivo expresado en milímetros. Un ejemplo: si se observa la estrella Castor de la constelación de Géminis con un refractor de 25 mm, aparecerá como una sola; en cambio, si se observa con uno de 150 mm, se presentará doble. Dado que las dos componentes de la estrella se encuentran a 3",9 de distancia angular, es evidente que el primer instrumento tiene un poder de resolución inferior y no es capaz de diferenciarla como dos puntos distintos (en el primer caso el poder de resolución es de $115:25 = 4,6$); pero el segundo tiene un poder de resolución ampliamente superior al necesario, y distingue sin dificultades las dos estrellas.

Polar (estrella). La Estrella Polar no se encuentra exactamente en el Polo Norte celeste, sino a 1° de él. A causa del movimiento de Precesión del eje de rotación de la Tierra, en el 2012 la Polar se encontrará a la mínima distancia con respecto al Polo Norte celeste (alrededor de medio grado) y después se alejará de nuevo. En el 2500 a J. C. la Estrella Polar era la α Lyrae, también conocida con el nombre de Vega.

Polarización. Es un fenómeno por el cual las vibraciones de un rayo luminoso, que como es sabido se producen en todos los planos normales a la dirección de propagación de éste, se realizan preferentemente en un solo plano determinado, que se llama, precisamente, plano de polarización. Su descubrimiento se debe al holandés Christian HUYGENS. La radiación luminosa proveniente de fuentes celestes puede ser polarizada cuando es reflejada por polvos interestelares, o por una nebulosa de gas y polvos como la que rodea el cúmulo estelar de las Pléyades. El grado de polarización de la luz puede medirse con instrumentos apropiados dotados de filtros polarizadores.

Polos celestes. Son los puntos en los que la prolongación ideal del eje de rotación de la Tierra hacia el Norte y hacia el Sur corta la esfera celeste. A causa del movimiento de Precesión realizado por el eje de rotación de la Tierra, también los polos se desplazan. Las estrellas que se encuentran en coincidencia o casi con la posición de los polos celestes se llaman Polares; revisten una gran utilidad para la orientación, porque indican el punto cardinal Norte y el

Sur. Debe subrayarse que, mientras que en correspondencia con el Polo Norte existe actualmente una estrella Polar brillante y fácilmente reconocible, en el Sur, tal estrella falta.

Pons, Jean Louis. 1761 - 1831 Astrónomo francés asiduo descubridor de cometas: encontró unos cuarenta en veinticinco años de actividad. Empezó como aficionado y ayudante en el observatorio de Marsella. A los cuarenta años efectuó su primer descubrimiento cometario y desde ese momento se dedicó a la caza de estos astros. En 1813 fue nombrado director de la escuela astronómica de Lucca (Italia), donde descubrió siete cometas. En 1825 fue nombrado director del observatorio astronómico de Florencia, donde permaneció hasta su muerte continuando la afortunada serie de sus descubrimientos.

Posición (ángulo de). Es la posición aparente de un objeto astronómico referida a otro y medida en grados desde el punto Norte del objeto principal hacia el Este. El ángulo de posición es indispensable para conocer la posición relativa de las dos componentes de una estrella doble, o bien la dirección de la cola de un cometa con respecto a la cabeza. El ángulo de posición de Alcor con respecto a Mizar, por ejemplo, es actualmente de 15° (Mizar y Alcor son las dos principales componentes de una famosa estrella doble en la constelación de la Osa Mayor). Para calcular el ángulo de posición se recurre generalmente a un micrómetro, que es aplicado al ocular de un telescopio del tipo refractor.

Poynting-Robertson (efecto). Es un fenómeno causado por el efecto de la presión de radiación sobre las pequeñas partículas de polvo interplanetario. Como consecuencia del frenamiento sufrido por la interacción con la radiación las partículas se desplazan en órbitas espiraliformes cada vez más próximas al Sol y terminan cayendo sobre él. El efecto debe su nombre al físico inglés J. H. Poynting y al americano H. P. Robertson, que hicieron una previsión teórica antes de que se determinara experimentalmente.

Precesión. La Tierra no es una esfera perfecta, sino que presenta un ensanchamiento ecuatorial debido a su rotación. El efecto gravitacional de la Luna y del Sol sobre este ensanchamiento hace que el eje de rotación de nuestro planeta, que está inclinado $23,5^\circ$ con respecto a la vertical, no esté fijo en el espacio, sino que describa una circunferencia, precisamente como hace el eje de una peonza que gira vertiginosamente. El movimiento que realiza el eje terrestre al describir esta circunferencia se llama precesión. La precesión tiene una duración de 25.800 años y el diámetro de la circunferencia descrita por el eje sobre el fondo de la esfera celeste es de 47° , es decir, el doble de la inclinación del eje terrestre. Por efecto de la precesión, esa estrella de referencia alineada con el eje terrestre y llamada Polar cambia; así como cambian las Coordenadas astronómicas de los astros y el punto de intersección entre el plano del Ecuador terrestre y el plano de la órbita terrestre, que se define Equinoccio. Este fenómeno y sus consecuencias son conocidos desde la antigüedad y fueron descritos por primera vez por el astrónomo griego HIPARCO.

Presión. Desde un punto de vista físico, la presión es la relación entre una fuerza actuando sobre una superficie y el área de la propia superficie. La presión atmosférica de un planeta es, a un determinado nivel, el peso ejercido sobre la

unidad de superficie de la columna a gas que está por encima de la propia superficie.

Presión de radiación. Es la presión ejercida sobre partículas en el espacio de la radiación electromagnética.

Prognoz. Nombre dado a una serie de satélites científicos soviéticos, colocados en órbita terrestre con la finalidad de estudiar la actividad solar y la interacción entre las radiaciones solares y nuestro planeta. En particular, el sexto y el séptimo satélite de la serie han estudiado las radiaciones UV, X y γ , así como el campo geomagnético. Similares en los objetivos y en las características a los satélites americanos del tipo IMP, (Interplanetary Monitoring Platform), los Prognoz han sido puestos en órbitas elípticas que llegan en el perihelio a 200.000 km de distancia de la Tierra (aproximadamente la mitad de la distancia que nos separa de la Luna). Sus lanzamientos, que comenzaron en abril de 1972, han sido concentrados en el periodo de creciente actividad del Sol, que ha registrado el máximo en 1979.

Protoestrella. Es una estrella en la etapa inicial de su formación, en una fase evolutiva comprendida entre el momento en que comienza el colapso hacia un centro común de una nube de gases y polvos y aquel en que, por efecto del aumento de la temperatura en el interior de la masa de materia en contracción, se desencadenan los procesos termonucleares que llevan a la liberación de enormes cantidades de energía. Los astrónomos consideran que se encuentran en el estado de protoestrellas masas de materia interestelar llamadas Glóbulos de Bok; estos glóbulos tienen una densidad de unas 1.000 veces superior a la de las normales nebulosas oscuras y un diámetro que varía entre 0,05 y 0,5 parsec.

Protón. Partícula subatómica que forma parte del núcleo del Átomo. El protón tiene una carga positiva y una masa 1.840 veces mayor a la del electrón (que, por convención, es igual a 1). En un átomo estable, el número de protones en el núcleo es igual al de los electrones. Siendo él mismo una partícula de tendencia estable, el protón tiene una vida media muy larga.

Protón-protón (ciclo). Es uno de los procesos nucleares, ciertamente el más importante, que se llevan a cabo en el interior de nuestro Sol y que son responsables de su enorme producción de energía. En el transcurso de este proceso, que se desarrolla a temperaturas por debajo de 15 millones de Kelvin, cuatro átomos de hidrógeno son transformados en uno de helio. La transformación está acompañada por una emisión de radiaciones electromagnéticas.

Proton (misil). Nombre de un potente lanzador soviético que entró en funcionamiento, por primera vez, en el año 1965 para poner en órbita al primer satélite científico de la serie homónima. La sección principal está formada por un huso central con un racimo de seis booster que lo rodean. Se le puede agregar una segunda sección. En su configuración mínima el Proton tiene un empuje de 1.500.000 kg, puede poner en órbita terrestre 23.000 kg, sobre la Luna 5.500 kg y hacia los planetas 4.500 kg. El misil Proton ha sido empleado también para el lanzamiento de la estación espacial Sayut y de numerosas sondas lunares y planetarias soviéticas.

Proton (satélites). Satélites científicos soviéticos para el estudio de los rayos cósmicos de alta energía, lanzados a partir de julio de 1965 con un misil de nueva concepción, el Proton. Su notable peso, entre 12.000 y 17.000 kg, es debido al hecho de que con los Proton también se experimentaron algunas partes de la estación orbital Salyut. Proton 1 fue lanzado el 16 de julio de 1965 y se dedicó al estudio de los rayos cósmicos primarios y de los rayos γ ; el Proton 2 fue lanzado el 2 de noviembre de 1965 y desarrolló una misión análoga al anterior; el Proton 3 fue lanzado el 6 de julio de 1966 y se dedicó, en particular, a la investigación de las partículas subatómicas en los rayos cósmicos; el Proton 4, por último, fue lanzado el 16 de noviembre de 1968 y efectuó investigaciones análogas a las realizadas en el transcurso de los vuelos anteriores.

Protuberancia. Erupción solar que se eleva de la Cromosfera y se proyecta hacia la Corona. Está constituida por gases, principalmente hidrógeno, a altísimas temperaturas y se asocian con frecuencia a las manchas solares. Las protuberancias pueden observarse durante los eclipses de Sol, como arcos de fuego en las proximidades del borde solar, incluso con un modesto telescopio o binocular. Su altura media es de unos 150.000 km. Se subdividen en dos tipos: protuberancias quiescentes cuando se levantan y evolucionan muy lentamente; protuberancias eruptivas, cuando se producen en el lapso de pocas horas. Estas últimas a menudo están asociadas con los Relumbrones solares.

Próxima Centauro. Es una de las tres estrellas que forman el sistema de α Centauro. Próxima es una enana roja alrededor de 50 millones de veces menos luminosa que el Sol. Se llama así porque, en su posición actual, es la estrella más cercana al Sol del que dista 4,3 AL. Próxima es una variable visible sólo con un potente telescopio. Las otras dos estrellas que forman el sistema de α Centauro, en cambio, pueden observarse con un modesto instrumento. Recordemos que el sistema de α Centauro se encuentra en el hemisferio austral y por lo tanto no puede verse desde el continente europeo.

PUERBACH, George. 1 423-1 461 Fundador de la astronomía alemana y profesor en la Universidad de Viena, se ocupó de la teoría del movimiento de los planetas en su época dominada por el sistema tolemeico. Trató de realizar también la medida de la Paralaje de un cometa con el fin de establecer su distancia desde la Tierra, pero la imprecisión de los instrumentos no le permitió resolver el problema. Enseñó durante algunos años en Italia. Entre sus alumnos se encontró el famoso Johann MÜLLER, más conocido con el sobrenombre de REGIOMONTANO, quien, entre otras cosas, en 1472, describió el paso del cometa que sería observado por Edmund HALLEY tres siglos más tarde y de quien tomaría el nombre.

Pulkovo (observatorio). Observatorio astronómico de antigua tradición que se encuentra próximo a la antigua ciudad de Leningrado. Fundado en 1839 por el astrónomo F. G. Struve, operó con telescopios refractores que en aquellos tiempos eran los más grandes y perfeccionados del mundo. Destruído por los bombardeos de la última guerra mundial, el observatorio fue reconstruido en 1954 y hoy, aunque dispone de instrumentos de pequeña y media apertura, aún está en actividad.

Púlsar. Es una estrella que emite radiaciones a intervalos breves y regulares, como si se tratara de un radiofaro. Este singular comportamiento se explica admitiendo que los púlsar son estrellas de Neutrones, en rápida rotación alrededor de su propio eje. Los púlsar fueron descubiertos por casualidad en 1967 por el radioastrónomo inglés Anthony HEWISH y fue tal el desconcierto por el singular comportamiento de estos astros, que algunos periódicos atribuyeron las señales intermitentes a seres inteligentes. Sin embargo, un año más tarde, cuando fue descubierto un extraordinario púlsar en el interior de la nebulosa del Cangrejo, el mecanismo físico de las pulsaciones fue puesto en claro. Hasta hoy se han descubierto más de 300 púlsar con periodos de emisión de las señales que oscilan entre un treintavo y cuatro segundos. Muchos de ellos se encuentran en el plano ecuatorial de nuestra Galaxia.

Q

Quásar. Palabra derivada de la frase Quasi Stellar Object (objeto casi estelar) creada en 1963 para definir una nueva clase de objetos celestes descubiertos en el transcurso de conjuntas observaciones ópticas y radioastronómicas. Se trata de cuerpos celestes que tienen una apariencia estelar y que, en el telescopio, aparecen como débiles estrellitas; sin embargo, observadas con el radiotelescopio, muestran una emisión energética tan intensa como para ser comparable con la de una galaxia íntegra. Los quásar muestran también un desplazamiento de las rayas espectrales hacia el rojo tan fuerte que, si este fenómeno tuviera que ser interpretado en términos de Expansión del Universo, ellos deberían estar animados con velocidades próximas a las de la luz y encontrarse en los extremos confines del Universo mismo, a miles de millones de años-luz de nosotros. El primer quásar fue descubierto por el astrónomo Maarten SCHMIDT del observatorio de Mount Palomar (California), en 1963. El encontró una pequeñísima estrella cuya posición coincidía con la de una gran fuente de ondas de radio de tipo galáctico. El espectro de esta estrella era sin embargo muy especial: en efecto, mostraba un redshift elevadísimo. Desde entonces, los astrónomos han localizado más de un centenar de estos problemáticos objetos, que parecen los más lejanos pobladores de nuestro Universo. Una de las hipótesis formuladas es que los quásar son núcleos de lejanas galaxias convulsionadas por fenómenos catastróficos: tal vez en el interior de estas galaxias se ha formado un Agujero Negro que absorbe la materia que le rodea, originando las potentes emisiones de radio. Esta hipótesis parece sostenida por el hecho de que algunos quásar, visibles ópticamente, muestran, si se fotografían con largas exposiciones, una envoltura de gas alrededor del objeto central. En cambio, según otros astrónomos, los quásar serían objetos próximos y su extraordinario redshift se debería a fenómenos físicos que aún no han sido explicados por el hombre.

R

Radar. Instrumento así llamado por la frase Radio Detection and Ranging (radio-determinación y medida de las distancias), que es adoptado para determinar distancia, posición y otras características físicas peculiares de un objeto lejano. Consiste en una antena direccional que emite un haz de ondas electromagnéticas enviadas contra un determinado objeto. Este último lo refleja hacia atrás; las ondas de retorno son captadas por un receptor apropiado y entonces analizadas con el fin de obtener de ellas la información deseada. El principio de funcionamiento de un radar es similar al de un reflector óptico que ilumina un objeto distante para permitir fotografiarlo; la diferencia estriba en que el haz de ondas emitidas por el radar está compuesto por radiaciones electromagnéticas invisibles, que tienen la capacidad de atravesar nubes y proporcionarnos la información con cualquier condición meteorológica. El radar, además, puede alcanzar objetivos muy distantes. Nacido entre las dos guerras para evidentes fines de reconocimiento militar, el radar ha encontrado una amplia aplicación en la astronomía moderna.

Radar-astronomía. Es la aplicación de las técnicas de investigación del Radar a astronomía. Consiste en enviar un haz de ondas electromagnéticas hacia un cuerpo celeste con una antena parabólica y recibir, por medio de la misma antena, el eco de las señales reflejadas hacia atrás. Debido a que las ondas electromagnéticas se desplazan a la velocidad de la luz (300 km/seg. aprox.), es posible determinar así con extrema exactitud la distancia del cuerpo celeste estudiado; por otra parte, de las modificaciones que experimentan las ondas de retorno, se pueden obtener informaciones sobre las características físicas superficiales del propio cuerpo. Obviamente, las ondas reflejadas tienen una potencia extremadamente inferior a las transmitidas, a causa de las dispersiones y atenuaciones que el haz experimenta en su viaje de ida y vuelta, por lo cual el alcance de la radar-astronomía no puede sobrepasar los límites de nuestro sistema solar. Los primeros intentos de aplicación de las técnicas del radar a la observación astronómica fueron efectuados por el ejército americano en 1946. Como disciplina científica la radar-astronomía nace a comienzos de los años 50, cuando por primera vez un haz de ondas de radio fue enviado a la Luna, permitiendo determinar con precisión su distancia. Diez años después, el experimento fue repetido con éxito sobre el planeta Venus. Con relación a este planeta, la radar-astronomía ha sido de gran ayuda, porque ha permitido penetrar la espesa capa de nubes que lo envuelven la aplicación de las técnicas de investigación del ven permanentemente y escrutar allí donde el ojo del Radar a la astronomía. Consiste en enviar un haz de telescopio no llega. Ya hacia finales de los años 60, se había observado que las características de las ondas reflejadas por Venus eran similares a las de la Luna indicando la existencia de una superficie accidentada y con muchos cráteres. Pero los resultados más interesantes se han obtenido en el decenio sucesivo, con la recopilación de un mapa radar de Venus efectuado gracias al empleo de los grandes radiotelescopios de Goldstone (California) y de Arecibo (Puerto Rico). Estos

han demostrado, entre otras cosas, la existencia de una gran cadena montañosa, los Montes Maxwell cuyas cimas más altas, de unos 11.000 metros, superan ampliamente las del Everest y rodean un gran cráter. Gracias a los métodos de investigación del radar ha sido posible determinar, en 1962, el periodo de rotación del planeta alrededor de su propio eje, que es de 243 días y se lleva a cabo en sentido retrógrado (opuesto al de la Tierra). Debido a que ni siquiera las misiones que llegaron a sus proximidades lograban penetrar la espesa capa de nubes venusianas, a partir de 1978 el método de investigación fue colocado sobre los vehículos espaciales automáticos. El Pioneer-Venus, en efecto, llevaba a bordo un pequeño equipo radar que permitió la recopilación de un mapa radar de Venus más preciso. En 1965 la radar-astronomía ha cosechado otro éxito: la determinación exacta del periodo de rotación de Mercurio, que es de 58,6 días y no de ochenta y ocho como pensaban aquellos que lo habían determinado por observaciones ópticas. El radar ha permitido, además, establecer las exactas dimensiones de los invisibles núcleos cometarios, que han resultado ser mucho más pequeños de cuanto se creía, ya que sólo alcanzan algunos kilómetros.

Radiación de fondo. En 1965, dos físicos americanos, Arno PENZIAS y Robert W. WILSON, estaban experimentando con antenas para mejorar las comunicaciones entre las estaciones de tierra y los satélites artificiales en órbita, cuando descubrieron un ruido de fondo de origen ignoto. Se trataba de una emisión constante que provenía de todas las partes del cielo y que tenía una longitud media de onda de tres milímetros. Una emisión de este tipo se sitúa, en el espectro electromagnético, en la zona donde las ondas de radio limitan con los rayos infrarrojos y por lo tanto sólo son perceptibles a través de las antenas de los radiotelescopios. Después de un periodo de desconcierto salió a la luz la verdad. Tenía sus raíces en dos predicciones, hechas respectivamente por los físicos americanos George Gamow en 1948 y por Robert Dicke en 1964. Partiendo de la hipótesis de que el Universo fue generado hace entre 15 y 20 mil millones de años por una gran explosión de energía o Big Bang y que con el tiempo ha sido una expansión de la llamada esfera de fuego primordial, de aquel grandioso acontecimiento debería haber quedado un testimonio bajo forma de una tenue luz o, mejor dicho, radiación, que aún se encuentra en todo el Universo. En otros términos, se trataría del residuo del fuego primordial como consecuencia del enfriamiento causado por la expansión. La radiación de fondo es muy fría: tiene una temperatura de apenas 8 K, correspondientes a -270 °C. Estas medidas concuerdan bastante bien con lo previsto por la teoría, de modo que hoy se puede afirmar que el descubrimiento de la radiación de fondo ha contribuido a reforzar la hipótesis del Big Bang. Los dos físicos que han localizado, aunque casualmente, la radiación de fondo han obtenido el premio Nobel de física en 1978.

Radiación (presión de la). Es la fuerza ejercida por la radiación electromagnética sobre la materia.

Radiación electromagnética. Con este término se indica el conjunto de radiaciones emitidas por los diversos cuerpos celestes y por la materia en general existente en el Universo. La radiación electromagnética comprende una variedad extraordinariamente amplia de emisiones que van, en orden decreciente de energía y de frecuencia (y creciente en cuanto a la longitud de onda), desde los rayos γ a los rayos X, rayos ultravioletas, etc. Todas estas emisiones, que según los casos tienen una naturaleza de partículas o de ondas electromagnéticas, son producidas en el curso de procesos energéticos que involucran a las partículas elementales con que está formada la materia y constituyen el denominado espectro electromagnético. La luz que perciben nuestros ojos sólo ocupa una pequeña banda del espectro electromagnético total, precisamente la comprendida en las longitudes de onda de 4.000 Ångstrom (luz violeta) y los 7.000 Ångstrom (luz roja). Hasta la primera mitad del siglo XIX todas las informaciones sobre el Universo se recogían de las observaciones en luz visible; con el nacimiento de la astrofísica y la construcción de instrumentos capaces de percibir las otras emisiones del espectro electromagnético, nuestros conocimientos sobre el Universo se han ampliado enormemente.

Radial (velocidad). Es la componente del movimiento de una estrella medida a lo largo de la línea ideal que la une con la Tierra. La velocidad radial es determinada por la medida del efecto Doppler y se expresa en números positivos si la estrella se aleja de nosotros; negativos en el caso opuesto. Hasta ahora se han medido las velocidades radiales de más de 20.000 estrellas y su valor medio ha resultado ser de 20 km/s. Todas las galaxias que observamos desde la Tierra, a excepción de las pertenecientes al llamado Grupo Local, tienen velocidades radiales positivas, lo que significa que se alejan de nosotros. En esta observación se basa la teoría de la expansión del Universo.

Radiante. Es la dirección aparente desde la cual parecen irradiarse sobre la bóveda celeste los Meteoros pertenecientes a una determinada Lluvia meteórica. Debido a que los corpúsculos sólidos que componen el enjambre de una lluvia meteórica, viajan juntos a lo largo de una determinada órbita alrededor del Sol en trayectorias paralelas, cuando la Tierra los intercepta ellos penetran en nuestra atmósfera mostrando el mismo punto radiante. El radiante coincide con un determinado punto del cielo estrellado y, habitualmente, toma el nombre de la constelación en la cual se encuentra. La determinación del radiante es una de las investigaciones que generalmente son realizadas por los astrófilos, habituales observadores de las lluvias meteóricas. Puede determinarse a través de observaciones visuales o fotográficas; se trata de establecer, sobre un mapa celeste, las trayectorias vistas o fotografiadas de un cierto número de meteoros pertenecientes a la misma lluvia y prolongar hacia atrás su punto de origen: esta prolongación convergerán, aproximadamente, en el único punto del cielo que es precisamente el radiante. En las lluvias de meteoros de larga duración es interesante registrar el fenómeno del desplazamiento de radiante, consistente en una emigración del punto radiante a medida que pasan los días. Ello se debe al hecho de que, moviéndose tanto el enjambre como la Tierra a lo largo de sus propias órbitas, cambia el fondo celeste sobre el cual se proyecta el radiante.

Radio. Elemento químico con el número atómico 88, que se encuentra en la naturaleza bajo forma de un mineral blanco-

plateado. Tiene la propiedad de emitir rayos α , β y γ , luz visible y calor, transformándose con el tiempo en varios isótopos. Este comportamiento suyo se debe a la radiactividad. El radio fue descubierto en 1898 por los esposos Curie que lo separaron de minerales de Uranio donde está presente a razón de 0,3 gramos por tonelada. Gracias a sus propiedades radiactivas, el radio tiene diferentes usos en la investigación científica y en la astrofísica en particular.

Radioastronomía. La radioastronomía, importante rama de la astronomía, estudia los cuerpos celestes a través de sus emisiones en el dominio de las ondas de radio, como muchas especializaciones científicas. ha nacido por casualidad. Entre finales de los años veinte y comienzo de los treinta, un joven ingeniero americano. Karl JANSKY estaba trabajando en Holmdel (New Jersey) en la investigación de las causas de perturbaciones de radio de origen atmosférico que intervienen con las transmisiones de larga distancia. La investigación le había sido encomendada por la Bell Telephone, que tenía interés en encontrar un método para eliminar esas molestas interferencias que perturbaban sus circuitos transoceánicos. JANSKY construyó una antena formada por una estructura metálica en forma de jaula, con unas dimensiones de 20 x 4 x 5 m, y la suspendió sobre las ruedas de un viejo Ford, de manera que un motor pudiera hacer girar la antena en diferentes direcciones. Después comenzó un largo y paciente trabajo de recopilación de datos, que consistía en el registro de los diferentes tipos de ruidos de radio captados en diferentes longitudes de onda, pero sobre todo en las ondas cortas y desde varias direcciones del cielo. Los resultados de este trabajo indicaron la existencia de tres tipos de interferencias: descargas breves procedentes de temporales locales; descargas análogas correspondientes a temporales muy lejanos: silbidos persistentes procedentes de una misteriosa fuente en movimiento regular a través del cielo. Después de meses de intensa investigación. JANSKY llegó, en la primavera de 1932 a la conclusión de que la fuente de aquel ruido estaba localizada en la constelación de Sagitario: en la dirección del núcleo de nuestra Galaxia. La noticia causó gran conmoción entre el público y se hicieron múltiples conjeturas sobre el origen de aquellas señales: sin embargo el propio JANSKY, que no era un astrónomo, se dio cuenta que no había nada de misterioso en ellas comprendió que muchos cuerpos celestes, además de irradiar energía, bajo forma de luz visible, lo hacen también bajo forma de ondas de radio. Nació un nuevo instrumento de investigación astronómica. que ofrecía la posibilidad de estudiar los cuerpos celestes no sólo a través del telescopio, sino también a través de las antenas de radio: aquellas que más tarde se llamaron Radiotelescopio. Tal vez los tiempos no estaban lo suficientemente maduros para que la nueva ciencia pudiera desarrollarse, pero lo cierto es que la solicitud de JANSKY para construir una nueva antena con forma de Paraboloide para profundizar en los estudios no fue atendida. Las investigaciones del joven ingeniero de la Bell Telephone fueron tomadas por otro americano, Grote REBER, que puede definirse como el primer y auténtico radioastrónomo del mundo. No obstante, sólo después de la segunda guerra mundial, gracias también a los desarrollos de las tecnologías del Radar, la radioastronomía pudo despegar definitivamente llevando a los astrónomos al descubrimiento de un nuevo Universo. Los mecanismos físicos que están en la base de las emisiones de radio por parte de los objetos celestes, son diferentes de aquellos que hacen brillar a los mismos objetos con luz visible. En efecto, mientras casi todas las ondas electromagnéticas comprendidas en el espectro visible tienen un origen térmico (es decir

son consecuencia de la elevada temperatura a la que se encuentra la materia de objetos celestes como las estrellas), las ondas electromagnéticas comprendidas en el espectro radio se deben, sobre todo, al movimiento de partículas elementales cargadas de energía; uno de los mecanismos típicos de la emisión de radio-ondas celestes es, por ejemplo, la llamada radiación de Sincrotón: el movimiento en espiral de los haces de electrones que se desplazan a la velocidad de la luz a través de los campos magnéticos estelares o galácticos. No todos los cuerpos celestes que son potentes emisoras de ondas visibles lo son también de ondas electromagnéticas. Por ejemplo el Sol y las estrellas, que vemos fácilmente a simple vista, son debilísimas fuentes de radiación electromagnética. Si nuestros ojos fueran sensibles a las ondas de radio en lugar de a la luz visible, el cielo cambiaría de aspecto. El Sol se convertiría en una débil fuente, la Luna y los planetas serían casi invisibles, casi todas las estrellas desaparecerían de la escena y el cielo estaría dominado por una franja intensa, la Vía Láctea (correspondiente al plano ecuatorial de nuestra Galaxia). Aquí flujos de partículas componentes de los rayos cósmicos producen la radiación de sincrotrón. Además de esta franja desmesurada que ocuparía la íntegra bóveda celeste, veríamos también fuentes aisladas en el interior de nuestra Galaxia, correspondientes a Supernovas, Púlsar, Nebulosas. Podríamos incluso divisar objetos muy lejanos que se encuentran más allá de nuestra Galaxia, como galaxias externas del tipo de Andrómeda, y también los Quásar, es decir los misteriosos núcleos de galaxias que parecen encontrarse en los confines del Universo. La radioastronomía ha incrementado notablemente los conocimientos del Universo a todos los niveles. En la escala planetaria, por ejemplo, ciertos mecanismos de interacción entre campos magnéticos locales partículas se han conocido gracias a las observaciones radio, como en el caso de Júpiter, que emite radiación de sincrotrón precisamente en virtud del potente campo magnético que lo rodea. Del Sol se pudo estudiar algunos fenómenos como las manchas y las erupciones, que son sedes de emisiones de radio. Incluso las lluvias anuales de meteoros se han convertido en un objeto de investigación radioastronómica, gracias a que las trazas de las partículas que se queman en la atmósfera ionizan los átomos por lo tanto, pueden captarse con técnicas de radio, incluso en pleno día. En una escala más amplia se ha descubierto que nuestra Galaxia no sólo está compuesta de un conjunto de estrellas, sino que también hay, entre ellas, grandes cantidades de hidrógeno frío e invisible a la observación con instrumentos ópticos. La distribución de este gas, y el hecho de que él le confiere a nuestra Galaxia la característica configuración de disco espiraliforme, son un resultado de la investigación del ciclo por medio de las ondas de radio. El hidrógeno frío es visible en el dominio de las radio-ondas, porque tiene una emisión característica en la longitud de onda de los 21 cm, que se debe a espontáneas inversiones de rotación de sus electrones como consecuencia de la absorción de energía. Uno de los recientes logros de la radioastronomía consiste en la individualización de numerosas especies de Moléculas interestelares. En una escala extragaláctica, la radioastronomía ha hecho importantes confirmaciones de la teoría cosmológica del Universo en expansión después de un Big Bang inicial, gracias al descubrimiento de radiofuentes lejanas que muestran un fuerte Desplazamiento hacia el rojo y gracias al descubrimiento de la Radiación de fondo. También las radiofuentes están catalogadas con criterios análogos a los de los catálogos estelares. Originariamente se solían indicar las fuentes que estaba dentro de una misma constelación con una letra de

alfabeto a partir de la A, respetando el orden de magnitud. Por ejemplo, la radiofuente más potente de la constelación de Tauro, la famosa nebulosa del Cangrejo, fue denominada Taurus A. Sin embargo, el número de radiofuentes se ha incrementado tanto en los últimos años, que esta simple catalogación se ha de mostrado insuficiente. Uno de los criterios más seguidos de clasificación ha sido introducido recientemente en el catálogo recopilado por el observatorio radioastronómico de Parkes, en Australia, que es el más utilizado para las radiofuentes del hemisferio Sur. En cambio, para el hemisferio Norte el más consultado es el recopilado por el observatorio radioastronómico Mullard, de Cambridge. El nuevo método consiste en identificar cada radiofuente con seis números, correspondientes a las Coordenadas celestes del astro: los cuatro primeros se refieren a la ascensión recta, los dos últimos a la declinación. Los números están precedidos por la sigla del observatorio que descubrió la radiofuente. Así, por ejemplo, el famoso púlsar descubierto en el interior de la nebulosa del Cangrejo está catalogado con la sigla PRS 0531 más 21, donde las tres letras están por Parkes, las cuatro primeras cifras corresponden a una ascensión recta de 05 horas y 31 minutos, y las dos últimas cifras a una declinación de más 21°. La observación radioastronómica, a causa de la *→absorción atmosférica*, está limitada a una denominada ventana radio que se extiende desde aproximadamente la longitud de onda de 1 cm hasta 30 m. Ondas de radio inferiores al centímetro son absorbidas por las moléculas de vapor de agua en suspensión en el aire, y difícilmente llegan a los instrumentos de tierra. Ondas de radio superiores a los 30 m son reflejadas hacia atrás en el espacio por la ionosfera, que actúa sobre ellas como si fuera un espejo. Por lo tanto también la radioastronomía deberá, en un futuro, emigrar de la Tierra para extender sus investigaciones más allá de los límites de la ventana radio. Pero las grandes dimensiones de los aparatos de recepción no permiten, por ahora, observatorios radioastronómicos espaciales.

Radiogalaxias. Son grandes sistemas estelares que en una observación óptica no muestran fenómenos peculiares, mientras que observados a través de radiotelescopios se revelan cómo potentes fuentes de ondas de radio, hasta el punto de superar en millones de veces la potencia de las señales emitidas por nuestra Galaxia. Parece que esta enorme emisión de radio tiene su origen en dos nubes de hidrógeno situadas a los lados y por fuera de la mayoría de las radiogalaxias. De acuerdo con una teoría, intensos haces de electrones serían expulsados desde los núcleos de las radiogalaxias hacia las nubes de gas externas, donde se originaría una radiación del tipo Sincrotrón. En el centro de algunas radiogalaxias se ha observado ópticamente un núcleo luminoso tan brillante como para emitir mucha más luz que el resto de la propia galaxia. Este núcleo, que muestra un fuerte desplazamiento de las rayas espectrales hacia el rojo, evidenciando una elevadísima fuga del objeto hacia los confines del Universo, ha sido bautizado por los astrónomos como Quásar.

Radiotelescopio. Es un instrumento que sirve como receptor de las ondas de radio provenientes del espacio. Puede estar constituido por una simple antena en forma de dipolo, conectada a un sensible aparato de amplificación y registro, o bien, y es la mayoría de los casos, por una estructura en forma de palangana (Paraboloide) que desempeña una función totalmente análoga a la de un espejo en un telescopio: concentra los rayos, en este caso las ondas de radio, hacia un foco. En el foco de un radiotelescopio está la ante-

na de dipolo conectada al aparato de amplificación y registro. En la práctica, las ondas de radio incidentes producen sobre la antena débiles corrientes eléctricas, que son después amplificadas por los circuitos del receptor. La ventaja de poder estudiar los cuerpos celestes, no sólo a través de su luz visible sino también a través de las radioondas que ellos emiten, es todavía discutida duramente por los científicos por las dificultades que se deben afrontar para lograr que las señales sea inteligibles. En efecto, dada la distancia de la fuente y el largo viaje que deben realizar las ondas - en algunos casos miles de millones de años luz-, lo que llega a la Tierra es una señal increíblemente débil. Puede parecer paradójico, pero si sumáramos la cantidad de energía captada por todos los radiotelescopios del mundo desde el comienzo de la radioastronomía hasta el día de hoy, sería inferior a la energía necesaria para hacer clic con nuestro ratón. Por este motivo son necesarios receptores particularmente sensibles y costosos, como los enfriados con gas líquido, con el fin de aumentar el rendimiento. Además, debido a que las longitudes de onda con las cuales trabaja la radioastronomía son aproximadamente un millón de veces mayores que las de las radiaciones visibles, para que un radiotelescopio tenga el mismo poder de resolución que un telescopio debería ser proporcionalmente más grande, lo que plantearía, como es comprensible, delicados problemas constructivos. Hoy, con los mejores radiotelescopios se logra obtener un poder de resolución de un minuto de arco, es decir, 1/30 del diámetro lunar, que es poco comparado con el poder de resolución de 0,01 minuto que puede obtenerse a través de las fotografías realizadas con los mejores telescopios ópticos. Para solucionar este problema, los estudiosos han inventado los llamados radiotelescopios de síntesis, desarrollados por primera vez por el astrónomo Martin RYLE en el observatorio radioastronómico Mullard en Cambridge, que consiste en una serie de pequeños radiotelescopios alineados y conectados por medio de un computadora, de manera que su apertura equivalente sea superior a la de cada uno de ellos. El mayor telescopio de síntesis construido en el Mullard tiene un diámetro equivalente a un paraboloide de 5 km de diámetro y alcanza un poder de resolución comparable al de los mejores instrumentos ópticos. Los radiotelescopios, a veces, son utilizados no sólo como receptores de ondas electromagnéticas, sino también como transmisores. Este es el caso, por ejemplo, de los radiotelescopios de Goldstone en California y de Arecibo en Puerto Rico, que han sido utilizados para trazar mapas de planetas con las técnicas del Radar. Como consecuencia de una toma de posición de decenas de radioastrónomos y astrofísicos de todo el mundo, que están convencidos de la utilidad de la búsqueda de una eventual vida extraterrestre a través de técnicas radioastronómicas, una pequeña parte del tiempo de actividad de algunos radiotelescopios se dedica a la investigación sistemática de transmisiones inteligentes, provenientes de eventuales planetas extrasolares habitados por civilizaciones evolucionadas.

Ranger. Serie de sondas automáticas para la exploración de la Luna, realizada por la NASA entre 1961 y 1965. La primera sonda de la serie debía enviar imágenes televisivas durante la fase de aproximación y hacer descender un pequeño paquete instrumental sobre la superficie de nuestro satélite natural, con el fin de efectuar medidas de carácter geofísico como el registro de eventuales terremotos lunares. Los instrumentos estaban contenidos en una esfera de unos 64 cm de diámetro, bautizada Tonto, que estaba construida en madera de balsa, elástica y bastante resistente. Sin embargo, los primeros seis vuelos de los Ranger estuvieron mar-

cados por clamorosos fracasos. Entonces la técnica de las misiones Ranger fue modificada: se eliminó el descenso del módulo instrumental y se limitó a la realización de tomas por televisión de la superficie a medida que la sonda se acercaba a nuestro satélite, antes de concluir su existencia con un impacto destructivo. Fue gracias a estas modificaciones que los últimos tres Ranger de la serie pudieron transmitir a tierra miles de imágenes, revelando por primera vez detalles de pocos metros. Esta masa de informaciones fue preciosa para los proyectos de los futuros descensos lunares efectuados por las naves automáticas Surveyor. Los Ranger, en su configuración final, estaban constituidos por una estructura de base hexagonal con una altura de unos 3 m y 360 kg de peso. En el espacio se desplegaban dos grandes paneles solares para la alimentación de los sistemas de a bordo.

Rayas espectrales. Son las finas rayas que se observan cuando la luz de un objeto celeste es dispersada en las diferentes longitudes de onda que la componen por medio de un espectroscopio. Cada raya es representativa de un determinado elemento químico presente en el astro y tiene una longitud de onda bien definida.

Rayos cósmicos. Partículas atómicas, en su mayoría protones, provenientes del espacio profundo, que se desplazan en el espacio y entran en contacto con la Tierra.

Rayos X. Son ondas electromagnéticas que tienen longitudes extremadamente cortas, comprendidas entre 0,1 y 300 Ångstrom.

Rea. Es el segundo satélite de Saturno en orden de tamaño después de Titán y el quinto en orden de distancia desde el planeta. Tiene un diámetro de 1.530 km y una densidad algo superior a la del agua: 1,3 g/cm³. Su distancia media desde Saturno es de 527.000 km y su periodo de revolución de 4,5 días. Rea fue descubierto por el astrónomo Giovanni CASSINI en 1672.

REBER, Grote. Radioastrónomo americano, nacido en 1911, pionero de las investigaciones en este campo. Aprovechando el descubrimiento de la existencia en el espacio de fuentes de ondas de radio hecho por Karl JANSKY (1905-1950) en 1932, REBER se construyó un radiotelescopio con una antena de 9,4 m de diámetro y, a partir de 1937, comenzó a trazar un radio-mapa del cielo, en base a las ondas de radio que lograba captar y que eran las de longitud de onda alrededor de un metro. Localizó diferentes fuentes de ondas de radio, algunas de las cuales coincidían con objetos visibles y otras no. Más tarde estas últimas fueron identificadas con la nebulosa del Cangrejo, con una radio-galaxia en el Cisne y con lo que quedaba de una supernova en Casiopea. REBER, que hasta el último conflicto mundial fue el único radioastrónomo existente en el mundo, hizo escuela transmitiendo el interés por esta apasionante rama de la astronomía a muchos estudiosos.

Red Shift. Palabra inglesa de uso común en todo el mundo para indicar el fenómeno que en castellano puede traducirse como desplazamiento hacia el rojo. A causa del efecto Doppler, las líneas espectrales de astros que se alejan relativamente de nuestro punto de observación aparecen, en lugar de la longitud de onda habitual, desplazados hacia longitudes de onda mayores: de ahí la genérica definición de desplazamiento hacia el rojo, color que, como es sabido,

ocupa las longitudes de onda mayores en el intervalo del espectro visible. El *red shift* es proporcional a la velocidad con que un objeto se aleja con respecto al observador: cuanto mayor es esta velocidad, mayor resulta el desplazamiento de las líneas espectrales hacia el rojo. La Ley de Hubble permite calcular, conocido el *red shift*, la distancia actual de objetos celestes. Las galaxias más distantes presentan un *red shift*, de 0,7, que corresponde a distancias de unos 10.000 millones de años-luz. Pero los objetos más distantes de todos parecen ser los Quásar, que presentan un *red shift* de más de 3,5, lo que equivale a decir que se encuentran en los confines del Universo conocido y que están animados por velocidades próximas a la de la luz.

Redstone. Transportador espacial americano utilizado a comienzos de los años 1960 para las primeras misiones de exploración tanto automáticas como humanas. Realizado por el pionero de la astronáutica Werner VON BRAUN en el US Army Redstone Arsenal de Huntsville, Alabama (más tarde rebautizado Marshall Space Flight Center), el Redstone fue, en un principio, un misil balístico intercontinental de alcance medio. Después, bajo la presión de los éxitos espaciales soviéticos, se transformó en transportador espacial. En su configuración de base, era un vehículo de una sola sección de 21 m de altura, un diámetro de 1,80 m, y un motor de propulsión capaz de proporcionar un empuje de 35.380 kg. Su poder de carga era muy limitado. El Redstone, en una versión modificada y provista de secciones superiores, fue empleado en el lanzamiento del Explorer 1, el primer satélite artificial americano. Más tarde fue utilizado como transportador en el lanzamiento de los primeros astronautas americanos, SHEPARD y GRISSOM, en vuelo suborbital en el ámbito del proyecto Mercury.

Reflector. Es un tipo de telescopio en el cual la imagen de un objeto celeste es recogida por un espejo cóncavo, llamado también espejo primario, y la refleja hacia atrás a un espejito secundario que tiene la función de dirigirla al ocular. La mayoría de los telescopios modernos son de este tipo, por cuanto resultan más económicos, compactos, y maniobrables que los telescopios refractores y pueden tener las mayores aperturas concebibles para un instrumento óptico.

Refractor. Es un tipo de telescopio en el que la imagen de un objeto celeste es recogida por una lente positiva llamada objetivo, que tiene la función de hacer converger los rayos luminosos hacia un foco común: el punto en el que se forma una imagen invertida y empequeñecida del objeto observado. Es función de un ocular proporcionar una imagen ampliada. Los refractores, en auge en el siglo XIX y en los primeros años de este siglo, ya casi no se construyen debido al alto costo de los lentes-objetivo de gran abertura y han sido reemplazados por los Reflectores.

Relatividad. Nombre de una teoría física sobre la estructura del espacio, formulada por Albert EINSTEIN en los primeros años de este siglo; puede considerarse como la innovación más grande y genial en el ámbito de las ciencias físicas después de las contribuciones de GALILEO y de NEWTON. La relatividad fue formulada en dos veces. En la llamada relatividad especial de 1905, se enuncia el principio fundamental de que la velocidad de la luz es una constante (300.000 km/s) que no depende del sistema de referencia que se considere; constituye también un límite inalcanzable para un cuerpo material y, a medida que se acerca a este valor límite, se experimenta un fenómeno conocido como dilata-

ción del tiempo. Esta última enunciación ha dado vida a la famosa paradoja de los gemelos, según la cual un hombre que viajara a velocidades próximas a la de la luz, al volver a la Tierra encontraría a su gemelo envejecido un número de años que depende de la velocidad con la que se ha desarrollado el viaje. En la relatividad especial, entre otras cosas, está enunciada la famosa ecuación de la transformación de la masa en energía: $E = mc^2$, donde c representa la velocidad de la luz. La llamada relatividad general, de 1915, representa a una extensión de la relatividad especial. En ella la gravedad es considerada no como una fuerza, sino como una consecuencia de la curvatura del espacio-tiempo (el tiempo considerado como cuarta dimensión del Universo). EINSTEIN comprendió que junto a un cuerpo de gran masa, como el Sol o una estrella grande, el espacio posee una curvatura mayor y la propia luz, pasando a su lado, debe experimentar una desviación. Este fenómeno ha sido constatado en el transcurso de eclipses totales de Sol, midiendo el desplazamiento que experimenta la luz de las estrellas cercanas al disco solar. Casi todas las numerosas implicaciones de la relatividad han tenido confirmación experimental, y hoy esta teoría es universalmente aceptada por los científicos. La relatividad tiene consecuencias notables en la exploración del espacio. En efecto, no sólo pone un límite infranqueable (el de la velocidad de la luz), a la velocidad que puede alcanzar una astronave, y por lo tanto también a las distancias que pueden recorrerse en tiempos humanos, sino que plantea también problemas de carácter físico y psicológico ante la eventualidad de que una astronave pudiera alcanzar velocidades relativistas (por ejemplo el 25 % de la velocidad de la luz) y hacer experimentar a los hombres el efecto de la dilatación del tiempo.

Relay. Nombre dado a dos satélites experimentales de telecomunicaciones lanzados desde los EE.UU. a comienzos de los años 1960. Un satélite Relay pesaba unos 80 kg y tenía una forma octogonal con la superficie externa recubierta por paneles solares. Su capacidad de transmisión era de 300 comunicaciones telefónicas, o bien de un canal televisivo en blanco y negro. Relay 1 fue lanzado el 13 de diciembre de 1962 y puesto en una órbita de mediana altura, con un periodo de 186 minutos. El Relay 2, lanzado el 21 de enero de 1964, tenía características orbitales análogas. Ambos, junto a otro famoso satélite de telecomunicaciones de la primera generación, el Telstar, aseguraron los primeros contactos radiofónicos y televisivos vía espacio a través del Atlántico y el Pacífico.

Relumbrón. Aumento imprevisto de la luminosidad de la cromosfera solar, que se encuentra en la proximidad de las Manchas. El fenómeno, que puede tener una duración de pocos minutos hasta algunas horas, está acompañado por una emisión de radiaciones ultravioletas y partículas. Estas últimas, alcanzando la Tierra, producen fenómenos atmosféricos como las auroras polares e interferencias en las transmisiones de radio.

Rendez-vous. Término francés que literalmente quiere decir cita pero que en la terminología espacial se utiliza para indicar las operaciones de acercamiento en órbita entre dos vehículos espaciales. El rendez-vous consiste en una simple aproximación de dos vehículos que viajan emparejados, el uno al lado del otro, animados por la misma velocidad orbital. El rendez-vous con el cual se indica la conjunción física entre dos vehículos espaciales. El primer rendez-vous de la historia espacial fue efectuado el 15 de diciembre de 1965 entre las dos astronaves Géminis 6 y 7. El 16 de mar-

zo de 1966 la Géminis 8 y el transportador Agena efectuaron el primer docking, abriendo así el camino a la realización de estaciones orbitales constituidas por elementos separados reunidos en órbita.

Resolución. Es la capacidad de un telescopio o radiotelescopio de diferenciar un pequeño detalle sobre la superficie de un astro, o bien dos objetos celestes lejanos, pero muy próximos entre sí. La resolución depende de la apertura del telescopio; cuanto mayor es ésta, mayor es la capacidad del telescopio de distinguir un detalle muy pequeño en un planeta o de separar dos estrellas vecinas.

Retorno. Es la fase del vuelo espacial en la que una nave debe abandonar su órbita para volver a la Tierra. La primera operación necesaria para la maniobra de retorno es la reducción de la velocidad orbital que, par una astronave que vuela en una órbita a unos 200 km de altura, se encuentra sobre los 28.000 km/h. Para obtener la reducción de esta enorme velocidad se accionan los llamados Retro-cohetes, que actúan en sentido opuesto al del desplazamiento y ejercen un efecto de frenado. En las astronaves de la primera generación el retorno se producía por caída libre: una vez agotado el efecto de frenado de los retro-cohetes, la cápsula caía, atraída por la fuerza de gravedad de nuestro planeta, precisamente como un meteoro y el descenso rápido era detenido por el efecto de freno de la atmósfera y, en la última fase, por un paracaídas. Con la introducción de la lanzadera espacial es posible, en cambio, entrar en la atmósfera planeando como un avión. Los problemas surgidos por el retorno son esencialmente dos. Ante todo el encendido de los retro-cohetes debe producirse en un punto de la órbita y durante un tiempo precisamente establecido, con el fin de centrar el lugar del descenso. Para cada misión se programan algunos corredores de retorno, es decir, algunas trayectorias parabólicas de descenso que llevan de la órbita a los puntos de aterrizaje prefijados (son más de uno por la eventualidad de malas condiciones meteorológicas u otras exigencias que impongan descartar un lugar). En segundo lugar, la nave debe estar adecuadamente protegida de las altísimas temperaturas que se desarrollan por el roce con la atmósfera -más de 15.000 °C- y que podrían quemar completamente los materiales más resistentes. Con este fin el vehículo está provisto de un escudo, compuesto por una resina especial que se vaporiza lentamente con el aumento de la temperatura, disipando así el fortísimo calor producido por el roce.

Retro-cohete. Es un motor a cohete cuyo chorro está orientado de tal manera que produzca un empuje en dirección opuesta a la del movimiento del vehículo espacial. Los retro-cohetes son empleados cuando una nave debe moverse más lentamente en su descenso a órbitas más bajas y retornar a tierra, o bien cuando debe efectuar un descenso suave sobre otro cuerpo celeste. Los descensos lunares de la serie Apolo, por ejemplo, se efectuaron gracias a los potentes retro-cohetes que poseía el Lunar Excursion Module, más conocido como LEM.

Retrógrado (movimiento). Se define retrógrado o también horario (porque se realiza en el sentido de marcha de las agujas del reloj) el movimiento de algunos cuerpos celestes a lo largo de su órbita alrededor del Sol o de un planeta; o bien el movimiento de algunos cuerpos celestes alrededor de su propio eje de rotación. En el sistema solar el sentido de marcha vigente es el directo o antihorario, pero existen

algunas excepciones; por ejemplo, el planeta Venus gira alrededor de su propio eje en sentido retrógrado; los cuatro satélites más externos de Júpiter rotan alrededor de éste en sentido retrógrado; muchos cometas, como el Halley, giran alrededor del Sol en sentido retrógrado, etc. Para un observador terrestre, los planetas exteriores a la órbita de la Tierra, como Marte, Júpiter, Saturno, en algunos periodos del año parecen moverse sobre el fondo de las estrellas en sentido retrógrado: se trata de un movimiento aparente debido a que la Tierra, que gira en una órbita más pequeña, los alcanza y luego los supera.

RIDE, Sally. Primera astronauta americana en ser enviada al espacio en el curso de un vuelo en órbita terrestre de la lanzadera espacial americana, efectuado en junio de 1983. Sally RIDE, diplomada en astrofísica y excampeona de tenis, entró a formar parte del cuerpo de astronautas en 1978; tenía 32 años en el momento de su primera misión. Después de veintidós años de vuelos espaciales tripulados y después que 57 astronautas americanos de sexo masculino se habían fogueado en diversas empresas, su bautismo espacial fue saludado por las feministas de todo el mundo como un ulterior signo de la emancipación femenina. Recordemos sin embargo que los soviéticos habían ya enviado, veinte años antes, a su primera mujer al espacio: Valentina TERESHKOVA. El vuelo de Sally de las estrellas como se le puso de sobrenombre se realizó en el transcurso de la séptima misión de la lanzadera espacial americana (el segundo vuelo del Challenger, después de cinco de su gemela Columbia). La tripulación estaba compuesta, además de por Sally RIDE, por cuatro hombres: el comandante Robert CRIPPE, el piloto Frederick HAUCK y los especialistas Norman THAGARD y John FABIAN. En colaboración con este último Sally RIDE desempeñó con éxito la función de manipular el largo brazo exterior de la lanzadera para liberar en el espacio, y luego recogerlo, un gran paquete con instrumental para realizar varios experimentos. Durante todo el periodo del vuelo, que duró seis días (del 18 al 24 de junio), esta astronauta llevó a cabo sus trabajos con valentía y competencia, mereciéndose las felicitaciones de todo el equipo directivo de la NASA.

Roche (límite de). Es la región alrededor de un cuerpo celeste dentro de la cual no puede encontrarse ningún otro cuerpo sin ser disgregado por las potentes fuerzas de marea, debidas al efecto gravitacional del cuerpo principal. Si la densidad del cuerpo principal y del secundario son aproximadamente iguales, el límite de Roche es de alrededor de 2,44 radios del cuerpo principal. Esto quiere decir que si el cuerpo secundario se acerca al interior de este límite, es destruido. Por consiguiente, cuando la densidad del cuerpo secundario resulta inferior a la del cuerpo principal, el límite de Roche es mayor. Todos los satélites del sistema solar se encuentran, obviamente, en el exterior del límite de Roche. El que los anillos de Saturno se hallen en el interior de este límite, ofrece una explicación del hecho que los materiales con los cuales están constituidos no han podido reunirse para formar un satélite.

ROEMER, Olaf. 1644-1710 Astrónomo danés que fue el primero en medir la velocidad de la luz. En 1672, mientras trabajaba en el observatorio de París, ROEMER notó que los instantes de los eclipses de los satélites de Júpiter diferían con respecto a las previsiones: precisamente se anticipaban si la Tierra estaba más próxima y se retrasaban si estaba más alejada. ROEMER supuso que esto se debía al tiempo diverso que necesitaba la luz para recorrer la distancia

continuamente variable entre Júpiter y la Tierra y, después de precisos cálculos, determinó para la velocidad de la luz un valor de 225.000 km/s. Este valor es bastante lejano del real de 300.000 km/s, pero el error no se debió al método adoptado por ROEMER, sino al inexacto conocimiento de las distancias planetarias en aquellos tiempos. A su regreso a Copenhague como director del observatorio local, ROEMER hizo montar allí el primer telescopio meridiano, instrumento útil para la determinación de la longitud: en efecto, si en dos puntos diferentes de la Tierra se toma nota de cuando un mismo astro pasa por el meridiano del lugar, la diferencia temporal puede traducirse en grados de longitud.

ROSSE, William. 1800-1867 Astrónomo irlandés constructor del que fue, hasta comienzos del siglo XX, el telescopio reflector más grande del mundo. Las observaciones de William HERSCHEL (1738-1822) habían mostrado que algunas nebulosas se convertían en estrellas utilizando telescopios de gran apertura. Lord ROSSE pensó que con un instrumento más potente que el de HERSCHEL, tal vez todas las nebulosas se revelarían como enormes cúmulos estelares y comenzó así a proyectar un telescopio gigante. Se trataba de un reflector dotado de un espejo de 1,8 m de diámetro, con un poder de resolución notablemente mayor al del instrumento más grande construido por HERSCHEL. El instrumento fue completado en 1845 y con él le fue posible a ROSSE determinar como estrellas a muchas nebulosas. El astrónomo irlandés notó además que algunas nebulosas presentaban una estructura en forma de espiral, como una en la constelación de los Lebreles (la clasificada en el catálogo Messier como M 51), que ROSSE dibujó con precisión. Estas nebulosas espirales hicieron discutir largamente a los astrónomos: hoy sabemos que son galaxias distantes millones de años-luz. ROSSE aclaró también las llamadas nebulosas planetarias (esas que, como hoy sabemos, están formadas por material gaseoso expulsado por las estrellas) tienen una estructura anular.

Rotación. Es el movimiento que un cuerpo celeste realiza alrededor de su propio eje. Su velocidad determina, en un planeta, la duración del periodo de rotación, es decir, del día. Una velocidad de rotación elevada comporta, sobre todo en los cuerpos celestes de baja densidad media, un marcado achatamiento en los polos y un ensanchamiento en el ecuador a causa de las fuerzas centrífugas. Las rotaciones de los planetas del sistema solar se realizan, con excepción de Venus, en sentido antihorario.

Rover lunar. Vehículo eléctrico utilizado por los astronautas del Apolo para explorar la superficie lunar en los alrededores al lugar de descenso y recoger muestras del terreno. La definición exacta de este extraordinario vehículo transportado por el LEM (estaba alojado, ocupando menos de un m² de espacio, en un hueco situado a la derecha de la escalerilla de descenso) hasta la Luna era Lunar Roving Vehicle, o más simplemente LRV. En el transcurso de las misiones Apolo se emplearon en total tres rover, con los vuelos 15, 16 y 17, que después fueron abandonados en los lugares de descenso. Cada vehículo, con un peso de dos quintales, tenía una longitud de 3,10 m y un ancho de 1,14 m y podía desplazarse a una velocidad de hasta 15 km/h, superando pendientes de 20°. Un sistema especial de orientación permitía a los astronautas conocer la posición con respecto al módulo de descenso, y así no extraviarse durante las excursiones

RUSSELL, Henry Norris. 1877-1957 Astrónomo americano autor de un famoso diagrama en el cual la categoría espectral de las estrellas se pone en relación con su magnitud absoluta. RUSSELL partió de una observación del danés HERTZSPRUNG (de hecho, el diagrama se conoce con el nombre de Hertzsprung-Russell), según la cual era necesario, para darse cuenta con precisión de la luminosidad de las estrellas, introducir junto al concepto común de magnitud aparente el de magnitud absoluta. Esta última puede definirse como la luminosidad que presentaría una estrella si se encontrara a una distancia estándar de la Tierra, considerada igual para todas las estrellas que pueblan el Universo. RUSSELL relacionó las magnitudes absolutas de las estrellas con sus espectros, en base a los cuales habían sido divididas en siete clases principales denominadas en el orden O, B, A, F, G, K, M y llegó así a elaborar su diagrama que fue publicado en 1914. En él las clases espectrales aparecen en las abscisas y la magnitud absoluta en las ordenadas; las estrellas son denominadas enanas, gigantes o supergigantes de acuerdo con su magnitud absoluta; y azules, blancas, amarillas y rojas según la temperatura. Esta manera de organizar los datos que se iban recogiendo sobre las estrellas se reveló muy útil para reconstruir su historia y evolución. Ello fue posible en particular en los años 1930, cuando se demostró que la energía de las estrellas se debe a las grandes reacciones termonucleares que se producen en su interior.

RYLE, Martin. Radioastrónomo inglés nacido en 1918, fundador y director, a partir de 1957, del Observatorio radioastronómico de Cambridge. RYLE y sus colaboradores emplearon en los años 1950 radiotelescopios cada vez más potentes (entonces la radioastronomía estaba poco más que en sus comienzos), logrando captar radio-fuentes cada vez más débiles. RYLE comprobó que el número de las fuentes de radio crece al aumentar la distancia, pero en un cierto punto disminuye bruscamente, reforzando así la hipótesis de un Universo que se ha expandido y evolucionado a partir de un núcleo originario y constituyendo por lo tanto una base para la teoría del Big Bang. Fue en el tercer catálogo de objetos radio recopilado por RYLE en Cambridge donde se encontraron los primeros Cuásar, inicialmente confundidos con estrellas. Hoy estos son considerados por la mayoría de los astrónomos, como testimonios de la actividad explosiva de núcleos de muy lejanas galaxias. Por la importancia de sus estudios RYLE recibió, junto con HEWISH, el Nobel de física en 1974. Recordemos brevemente que HEWISH obtuvo el premio por haber descubierto, a mediados de 1967, los Púlsars que se consideran los responsables de la emisión de rápidos y regulares impulsos de radio, comportándose como radiofaros.

S

Salyut. Nombre de una serie de estaciones espaciales orbitales soviéticas que entraron en fase operativa en 1971; han sido utilizadas tanto para experimentos científicos como para vigilancia militar. Constituidas por tres sectores cilíndricos conectados entre sí, con una longitud total de 12 m y un diámetro de 2 a 4 m, las Salyut pesan en promedio 20 toneladas y disponen de un volumen de carga de aproximadamente 100 m³ (del orden de 1/4 con respecto a la estación orbital americana Skylab). Están alimentadas por un sistema de paneles solares que se despliegan en órbita y fueron puestas en órbita por el misil Proton. Habitualmente cada estación es empleada varias veces, hasta que la instrumentación de a bordo se deteriora o la base se desintegra en la atmósfera. Las tripulaciones soviéticas son enviadas a la Salyut, por medio de astronaves Soyuz, que se unen físicamente con la base espacial para luego separarse y llevar a los hombres a tierra. Algunas bases orbitales Salyut han sido aprovisionadas por astronaves pilotadas automáticamente pertenecientes a la serie Progress (se trata en realidad de Soyuz modificadas). Con estos sistemas, los soviéticos han podido tener tripulaciones en órbita durante más de seis meses, ganando el récord de permanencia en el espacio. Durante todo este tiempo, los hombres efectúan observaciones astronómicas, experimentos biológicos y otras observaciones.

San Marco (base de lanzamiento). Nombre de una base de lanzamiento flotante ecuatorial, llevada a cabo por el Centro di Ricerche Aerospaziali de Roma bajo la dirección del profesor Luigi Broglio, lo largo de las costas de Kenya, en la Bahía de Ngwana. Realizada a partir de una plataforma para extracciones petrolíferas, ha sido transformada en una excelente base para el lanzamiento de misiles, que aprovecha la mayor fuerza centrífuga existente en el Ecuador. Con una longitud de unos 90 m y un ancho de 30 m, esta base se sostiene sobre una veintena de patas que se apoyan sobre el fondo del Océano Indico. Es operativa desde 1966 y de ella han salido los satélites italianos que llevan el mismo nombre que la base (→ *San Marco, satélites*), los americanos de la serie Small Astronomical Satellites y el satélite inglés para el estudio de las fuentes de rayos X, Ariel 5. El polígono de San Marco está compuesto además de por la homónima base de lanzamiento, por una segunda plataforma más pequeña, bautizada Santa Rita, de forma triangular, que es empleada para albergar al centro de control operativo de los vuelos y al personal del mismo.

SAS. Sigla de tres satélites científicos americanos de la serie Explorer, iniciales de Small Astronomy Satellites (pequeños satélites astronómicos). Los tres SAS, lanzados desde la plataforma italiana de San Marco, tenían la función de observar el cielo a los rayos X y γ . El primer "SAS", correspondiente al Explorer 42, fue lanzado el 12 de diciembre de 1970 y pasó a la historia de la ciencia con el sobrenombre de Uhuru, palabra que en un dialecto kenyata significa libertad. Uhuru descubrió una gran cantidad de fuentes estelares, entre las cuales se encuentra, particularmente,

Cygnus X-1, que emite rayos X. Los otros dos "SAS", correspondientes a los Explorer 48 y 53, fueron lanzados el 16 de noviembre de 1972 y el 7 de mayo de 1975, y se dedicaron, respectivamente, al estudio de fuentes de rayos γ y de rayos X.

Satélites. Cuerpos menores del sistema solar que se desplazan alrededor de los planetas. Existen planetas con un numeroso cortejo de satélites como Júpiter y Saturno, planetas con un solo satélite como la Tierra, alrededor de la cual orbita la Luna, y planetas carentes de satélites como Venus. Las características físicas de los satélites del sistema solar están descritas en las voces correspondientes a los nombres de cada una de ellos.

Satélite artificial. Es un objeto realizado por el hombre y puesto en órbita alrededor de un cuerpo celeste. La palabra satélite artificial se convirtió en una realidad el 4 de octubre de 1957, con la colocación en órbita terrestre del Sputnik 1. A partir de entonces miles de cuerpos artificiales con funciones muy diversas, científicas, militares, meteorológicos, comunicaciones, etc., han sido puestos en órbita tanto alrededor de la Tierra, como de otros planetas y satélites naturales de otros planetas. Un satélite permanece en órbita alrededor de la Tierra (o de otro cuerpo celeste) cuando la fuerza de atracción gravitacional está equilibrada con la fuerza centrífuga. Como la fuerza de gravedad ejercida por un cuerpo celeste disminuye en proporción inversa al cuadrado de la distancia, cuanto más alto esté situado el satélite, menor será la fuerza de atracción gravitacional y menor, por consiguiente, su velocidad orbital. A 160 km de distancia de la Tierra, un satélite necesita, para permanecer en órbita, una velocidad de aproximadamente 28.000 km/h; a 500 km de distancia es suficiente una velocidad de unos 27.000 km/h; a 5.000 km de distancia, la velocidad desciende a 21.000 km/h. Naturalmente, cuanto más alta es la órbita, mayor es el tiempo empleado por el satélite para realizar una vuelta alrededor de la Tierra (periodo). Los periodos orbitales de los tres casos tomados en consideración son respectivamente, 1h 28m, 1 h 34m y 3h 17m. Una órbita particularmente es la que está a 36.000 km de la Tierra, donde el satélite emplea exactamente 24 horas para realizar una vuelta completa. Esto significa que, con respecto a un cierto punto geográfico de nuestro planeta, el satélite permanece inmóvil porque su período orbital coincide con el de rotación de la Tierra. Una órbita de este tipo se llama sincrónica o geoestacionaria. Cuanto más alto se quiere poner en órbita a un satélite, mayor es el empuje que se le debe dar y, por lo tanto, más potente debe ser el cohete transportador que se utilice para el lanzamiento. Sin embargo, en lugar de enviar directamente el satélite a su órbita preestablecida, se puede realizar un notable ahorro con un lanzamiento en dos fases. Cuando el satélite se encuentra en el apogeo (punto más distante de la Tierra) y experimenta por lo tanto una fuerza de atracción menor, se procede al encendido de un pequeño motor que lo lleva arriba, a la órbita deseada. La proliferación de satélites de los tipos más diversos ha sido tal, desde 1957 a hoy, que se calcula

que estén en órbita en el espacio que rodea a la Tierra unos 6.000 cuerpos artificiales (considerando también las secciones superiores de misiles que quedaron en órbita o partes de artefactos espaciales con dimensiones superiores a un metro); el 70 % de estos tendrían aplicaciones militares. Por todo esto será inevitable, en los próximos años, una convención internacional que reglamente el tráfico en el espacio. La descripción específica de los satélites artificiales y de sus finalidades ha sido tratada, en esta enciclopedia, en las voces correspondientes a los nombres o siglas de los propios satélites. (Explorer, Landsat, OAO, etc.).

Saturno (misil). Es un supermisil americano, desarrollado en los años 60 bajo la guía de Werner VON BRAUN en el Marshall Flight Center de Huntsville, en Alabama, con el cual se llevó a cabo el grandioso proyecto Apolo para la exploración de la Luna. En la configuración completa el supermisil, denominado Saturno V, consistía en tres secciones con un peso total de 2.850 toneladas una altura de 111 m, y era capaz de transportar 150 toneladas a una órbita terrestre, o bien 50 toneladas a la Luna. La primera sección del Saturno V, indicada con la sigla S-1C, contenía 5 motores a cohete del tipo F., realizados por la Rocketdyne Corporation, que le daban un empuje total de 3.450.000 kg; sus dimensiones eran: 40 metros de altura y 10 m de diámetro. La segunda sección, denominada con la sigla S-II, era impulsado por 5 motores J2, para un empuje total de 526.000 kg; sus dimensiones: 25 m de altura, 10 m de diámetro. La tercera y última sección, S-IV B estaba compuesta por un solo motor J2 con un empuje de 104.000 kg; sus dimensiones 18 m de altura y 6,6 m de diámetro. El primer Saturno fue lanzado el 9 de noviembre de 1967 para un vuelo de prueba durante el cual puso en órbita a un modelo simulado de la astronave Apolo. Se trataba, en aquella época, del cohete más potente lanzado por el hombre; para la ocasión se construyó en Cabo Cañaveral una plataforma de lanzamiento, denominada Launch Complex 39, de la cual en los años siguientes partirían las históricas misiones lunares.

Saturno. Quienquiera que haya observado Saturno al telescopio está de acuerdo en que se trata del objeto más fascinante de nuestro sistema solar. Aún más espectacular que Júpiter, rodeado por su cambiante cortejo de satélites, Saturno se impone a la atención por el amplio anillo, visible incluso con un instrumento de pocos centímetros de diámetro. Esta extraordinaria estructura, observable desde diferentes perspectivas según las posiciones relativas de la Tierra y de Saturno (en 1980 los anillos eran visibles en corte; de 1985 a 1990 veremos con diversas inclinaciones la parte sur; en 1995 se verán otra vez en corte), fue descrita por primera vez por GALILEO en 1610. Sin embargo, el primer telescopio de que disponía el gran científico era muy rudimentario y no le permitió distinguir el anillo en su forma real; así él estaba convencido de que Saturno estaba formado por tres cuerpos separados, que era un conglomerado de estrellas dispuestas en una línea recta paralela a la eclíptica, con la estrella central mucho más ancha que las otras. Como era costumbre en esa época, GALILEO llamó a este descubrimiento con palabras latinas: *Altissimum planetam tergeminum observavi* (he visto al planeta más alejado compuesto de tres cuerpos). Fue mérito del astrónomo e inventor holandés Christian HUYGENS, en 1655, establecer la estructura real del anillo de Saturno. Sin embargo, antes de examinar más a fondo la estructura y el probable origen del anillo, veamos las principales características físicas y orbitales de Saturno, planeta que, hasta finales del siglo XVIII era considerado como el más alejado del Sol y que,

como hoy sabemos, es superado por Urano, Neptuno y Plutón. También Saturno, como Júpiter, es un gigante gaseoso. Tiene un diámetro ecuatorial de 120.000 km (un poco menos que Júpiter), una masa 95 veces superior a la de la Tierra y una densidad de 0,69. Representa, por lo tanto, el segundo planeta más grande después de Júpiter, pero también el planeta con menor valor de densidad: si existiera un océano tan grande como para poder contener a Saturno, como su densidad es inferior a la del agua, ¡flotaría en él! Estos primeros datos nos dicen que Saturno está compuesto de elementos ligeros, y en efecto, los análisis a distancia han confirmado que el hidrógeno y, en menor medida, el helio representan sus componentes principales. Se trata de una composición del tipo estelar, completamente similar a la de Júpiter, que nos confirma que este planeta gigante y lejano se formó a partir de los elementos más livianos contenidos en la nebulosa solar primordial. Pero la afinidad entre el planeta de los anillos y su hermano mayor Júpiter, no terminan aquí. También Saturno se presenta dotado de una fuente de calor interior que hace que el planeta irradie el doble de la energía que recibe del Sol. Esta fuente de energía interna -probablemente un residuo de los procesos de SATURNO agregación y contracción de la materia- en Saturno, como sucede en Júpiter, constituye el motor fundamental de los movimientos convectivos que mantienen en perenne circulación los gases que integran al planeta, causando la formación de grandes estrías paralelas al ecuador: las llamadas zonas (de color claro) y las bandas (de color oscuro). La diferencia sustancial entre las estructuras de Júpiter y las de Saturno es que mientras las primeras aparecen muy marcadas y están caracterizadas por colores vivaces, las segundas apenas son perceptibles, por lo menos con un telescopio terrestre, y tienen colores más tenues. De acuerdo con las hipótesis más verosímiles, este fenómeno de atenuación es atribuible a un velo de gas que está presente en las capas más altas de la atmósfera del planeta de los anillos. Las afinidades entre Saturno y Júpiter son notables: además de la composición y circulación atmosférica la estructura misma del planeta parece constituida bajo la masa gaseosa más externa, por una inmensa envoltura de hidrógeno en estado metálico y por un núcleo central ferroso. Otras semejanzas están relacionadas con la presencia de un marcado achatamiento polar. En Saturno, sin embargo, esta última característica está muy acentuada (el radio polar es 11.000 km menos que el ecuatorial), a causa de la rápida velocidad de rotación alrededor de su propio eje: en efecto, el planeta realiza una vuelta completa alrededor de su propio eje en 10 horas. Si bien las observaciones ópticas, de radio y térmicas efectuadas desde tierra en los años 50 y 60, habían proporcionado un cuadro bastante atendible de la naturaleza del planeta de los anillos, también en este caso un verdadero salto de conocimientos se ha realizado gracias a las misiones de las sondas automáticas americanas. La primera contribución ha sido proporcionada por el Pioneer 11 que, después de haberse encontrado con Júpiter, pasó junto a Saturno en septiembre de 1979; después fueron los dos Voyager, llegados al mundo saturniano en noviembre de 1980 y agosto de 1981, respectivamente. En el corto período de dos años, se ha podido recoger, de este modo, una masa de datos de incalculable valor y hacer sensacionales descubrimientos tanto sobre la circulación atmosférica del planeta, como de la estructura de sus anillos y de sus satélites. Los anillos. Ya hemos mencionado las primeras observaciones que hicieron GALILEO y HUYGENS en el siglo XVII sobre esta estructura con forma de disco agujereado en el centro. Es preciso agregar que el primero en efectuar observaciones más precisas, fue el astrónomo Gian Domenico CASSINI en

sas, fue el astrónomo Gian Domenico CASSINI en 1675. A él se debe el descubrimiento de un vacío aparente en el interior del anillo, que fue llamado precisamente división de Cassini y que determinó la subdivisión del propio anillo en dos partes definidas por convención anillo A (el más exterior con respecto al planeta) y anillo B, (el más interior). Pero sobre todo se debe a CASSINI la hipótesis formulada en 1715 de que el anillo estaba constituido no por un disco sólido, sino por un conjunto de partículas separadas que giran alrededor de Saturno en órbitas keplerianas, animadas por velocidades diferentes: más lentas las partículas más externas y más veloces las más interiores. El matemático y astrónomo Pierre Simon DE LAPLACE, confirmó esta hipótesis y aproximadamente un siglo más tarde, en 1857, el gran físico James Clark Maxwell, demostró por vía matemática que cada anillo estaba compuesto de miríadas de partículas de tamaño variable desde un peñasco a un fragmento de arena. Todo sería experimentalmente confirmado algunos años más tarde por las primeras observaciones espectroscópicas, que demostraron como existe una velocidad diferencial entre las diversas partículas que componen el anillo. Mientras tanto, observaciones más precisas habían llevado al descubrimiento de nuevas divisiones: ENCKE, en 1837, localizó un delgado vacío en el interior del anillo A. Se le llamó división de Encke o trazo de lápiz. En el siglo XX un tenue anillo, aún más interior que el B, fue descubierto y bautizado anillo C o anillo velo. Y en el año lejano 1969 fue localizado el anillo D. Sin embargo la verdadera revolución en lo relativo a la estructura de los anillos se produjo por obra de los datos recogidos por los Voyager. Vistos de cerca, los anillos se han multiplicado a millares. Algunos tienen un aspecto bastante uniforme, como el anillo A que está compuesto por partículas con dimensiones medias de unos 10 cm, otros presentan una estructura más compleja, como por ejemplo el anillo B que parece formado por una cantidad de sub-anillos que se entrecruzan entre sí de manera un poco desordenada. Aquí surgen también estrías que tienen la forma de radios de bicicleta y que no pueden explicarse sólo con el efecto de las fuerzas gravitacionales. Los Voyager también han descubierto una serie de anillos externos al A y que han sido llamados E, F y G. En la determinación de la estructura de los anillos tienen un papel muy importante los pequeños satélites bautizados satélites guardianes, porque con su efecto mantienen confinadas a las partículas dentro de espacios determinados. En lo que respecta a la naturaleza de las partículas constitutivas de los anillos, los Voyager han confirmado que están formados por fragmentos de naturaleza silicática recubiertos por una capa de hielo de diferentes dimensiones. Su reflectividad es variable y depende, al parecer, de una fina capa de polvillo que se ha depositado sobre estos pequeños icebergs. El origen de los anillos de Saturno es muy controvertido. En una época se pensaba que un satélite, acercándose a Saturno sobrepasando el límite de Roche, se desintegró en pedazos. Hoy está más acreditada la hipótesis de que los anillos se han formado Junto con el planeta y que son los restos de la nebulosa solar primordial. En la tabla se presenta un cuadro de los diferentes anillos de Saturno con sus relativas distancias. Los satélites. También los conocimientos sobre los satélites de Saturno han experimentado un sustancial adelanto después de las exploraciones cercanas de los dos Voyager. Hasta hace pocos años, sólo con las observaciones desde tierra, se habían localizado diez satélites de Saturno y el conocimiento de sus características físicas era muy incierto. Hoy estamos seguros de que el planeta de los anillos está rodeado por los menos de 17 satélites, alguno de los cuales representan pequeños mundos que se formaron al mismo

tiempo que Saturno; en cambio otros, son el resultado de capturas gravitacionales. Todos, excepto Febe, tienen el periodo de rotación sincrónico con el de revolución. Examinémoslos un por uno a partir del más cercano al planeta. 1980 S 28. Es el nombre provisional de un pequeño satélite descubierto por el Voyager 1 en 1980. También se le llama el guardián del anillo A porque gira manteniéndose en el borde exterior de este anillo. Está en órbita a una distancia media del planeta de 137.700 km, equivalentes a 2,28 radios saturnianos, y es por lo tanto el más interior de los satélites conocidos de Saturno. Tiene una forma irregular y sus dimensiones son, aproximadamente, de 80 x 60 x 40 km. Está recubierto por una capa de hielo. 1980 S 27 y 1980 S26. Son otros dos satélites descubiertos por el Voyager 1 que cumplen la función de guardianes en el sentido de que tienen confinado el anillo F; el primero se halla en el interior del propio anillo y el segundo afuera. S 27 está en órbita a 139.400 km, equivalentes a 2,31 radios planetarios, tiene una forma irregular de aproximadamente 140 x 100 x 80 km; S 26 está en órbita a 141.700 km, equivalentes a 2,35 radios planetarios y tiene unas dimensiones de 110 x 90 x 70 km. Ambos están cubiertos de hielo y presentan una superficie con picaduras. 1980 S 3 y 1980 S 1. Dos minúsculos satélites cuya existencia ha sido confirmada por el Voyager 1 (de hecho los astrónomos en tierra los habían ya divisado, pero no estaba seguros al ciento por ciento). Se presentan conjuntamente porque constituyen una auténtica singularidad. Giran en órbitas prácticamente idénticas, una a 151.400 km y la otra a 151.500 km de distancia del planeta (2,51 radios planetarios). Cuando se encuentran, cada cuatro años, no entran sin embargo en colisión sino que intercambian las órbitas. Al efecto de resonancia gravitacional de estas dos pequeñas lunas se deben algunas estrías que se notan en el anillo A. Desde el punto de vista de la forma, los dos satélites no son gemelos: S 3 es más pequeño, con dimensiones de 140 x 120 x 100 km, S 1 es más grande, con dimensiones de 220 x 200 x 160 km. Ambos están cubiertos de hielo, con las superficies extensamente craterizadas. Mimas. Es un pequeño satélite que gira precisamente afuera del anillo G, a unos 185.600 km de Saturno (3 radios planetarios) y cuyo diámetro es de 392 km. Presenta muchos detalles geológicos muy interesantes. Lo que más llama la atención es un cráter gigante, con un diámetro de 130 km, es decir un tamaño igual a un tercio de la superficie del satélite. Algunos lo llaman Herschel, en honor del gran astrónomo que descubrió Mima en 1789; en cambio otros lo denominan Arturo (lo que pone en evidencia que la toponimia de los cuerpos del sistema solar no ha sido aún claramente establecida). Este gran cráter debe haber sido provocado por la caída sobre Mimas de un cuerpo con un diámetro de 10 km y, según la opinión de los geólogos, representó el máximo impacto soportable por el pequeño satélite: si el meteorito hubiera sido más grande, Mimas se hubiera reducido a miríadas de fragmentos. El cráter, del cual tenemos fotografías de gran resolución gracias al Voyager 1 que se acercó a Mimas hasta 88.440 km (en cambio, el Voyager 2 se mantuvo más alejado, aproximándose a no más de 310.000 km), presenta un gracioso pico central con una altura de aproximadamente 6.000 metros. El resto de la superficie de Mimas está densamente craterizada. Mimas tiene una densidad de 1,3 g/cm³ y un albedo del 60 %: por lo tanto su composición es predominantemente de agua en estado de hielo. Encélado. He aquí un pequeño satélite -su diámetro es de aproximadamente 500 km- pero caracterizado por una compleja actividad geológica. Observado y fotografiado con precisión por el Voyager 2, que se le aproximó a 87.000 km de distancia, Encélado presenta

algunas partes de su superficie cubiertas de cráteres, mientras otras son casi completamente lisas. La explicación que dan los geólogos a esta neta diferenciación es que, por la influencia gravitacional de Saturno, en el interior de Encélado se genera una atracción mareal que desarrolla calor el cual, transmitido a la corteza del planeta, determina un proceso de rejuvenecimiento y de cierre de los cráteres. El altísimo valor del albedo Encélado refleja casi el 100 % de la luz solar y el bajo valor de densidad ($1,2 \text{ g/cm}^3$) nos dicen que Encélado es un mundo de hielo casi en estado puro. Se piensa que debajo de él hay volcanes que despiden agua hirviendo. Los productos de estas erupciones, dispersas en el espacio que circunda a Saturno, se transforman rápidamente en partículas heladas y podrían alimentar el anillo E con materia nueva, en medio del cual Encélado - girando a 238.100 km de distancia de Saturno (3,95 radios planetarios)- se encuentra en órbita. Tetis. Es aún un satélite lleno de fascinación y de misterio. Mide unos 1.000 km de diámetro y contiene la estructura de impacto más grande de todo el sistema saturniano. Se trata de un cráter de 400 km de diámetro, dotado de un pico central y de una serie de círculos concéntricos. Otra estructura singular es una larga fractura que se extiende por las 3/4 partes de la circunferencia del satélite. De acuerdo con algunos estudiosos, el gran cráter y la fractura fueron originados por el mismo hecho: la caída de un gran meteorito. Según otros, los dos detalles morfológicos son independientes: el primero formado sin lugar a dudas por la caída de un meteorito, el segundo por procesos de expansión de la corteza. También Tetis tiene una reflectividad (60-80 % según las regiones) y una densidad próxima a la del agua, razón por la cual se considera que esté compuesto casi exclusivamente de hielo. Está en órbita a una distancia media de 294.700 km de Saturno (4,88 radios) sobre el borde del anillo E. Visto desde tierra al telescopio, aparece como una estrellita de décima o undécima magnitud (según la distancia). Fue descubierto por el astrónomo CASSINI en 1684, pero sólo en 1980 el Voyager 2, acercándose a 93.000 km de él, reveló completamente los detalles más ínfimos. 1980 S 13 y 1980 S 25. Se trata de otros dos pequeños satélites-icebergs que giran en la misma órbita de Tetis, uno precediendo en 60° y el otro siguiendo en 60° al satélite del gran cráter. Por esta condición suya de gregarios, han sido bautizados Tetis B y Tetis C. A pesar de su baja luminosidad telescópica (19^a magnitud), han sido descubiertos desde tierra en 1980 por astrónomos americanos. Después los dos Voyager confirmaron su existencia en el plazo de un año. Las dimensiones de Tetis B, que tiene una forma irregular, son de 34 x 28 x 26 km; las de Tetis C, también oblongo como una patata, 34 x 22 x 22 km. Ambos tienen un albedo del 50 % y deberían estar compuestos predominantemente por hielos. Dione. Un poco más grande que Tetis (tiene un diámetro de 1.120 km), este satélite presenta sin embargo una densidad superior a la del agua, lo que hace pensar en una composición mixta de hielos y silicatos en una proporción de 3 a 2. Tampoco Dione carece de originalidad. Su hemisferio adelantado (recordemos que todos los satélites de Saturno, con excepción de Febe, tienen un periodo de rotación sincrónico con el planeta y por lo tanto es posible distinguir un hemisferio adelantado y uno retrasado) es más claro (albedo del 50 %), mientras el retrasado es más oscuro (albedo del 30 %) y presenta un sistema de estrías claras. Probablemente estas últimas han sido provocadas por el agua que llega a través de las fracturas, desde dentro hacia afuera. También Dione fue descubierto por CASSINI en 1684. 1980 S 6. Es un pequeño satélite gregario de Dione, que también es llamado Dione B. Recorre la misma órbita de Dione anticipándolo en unos

60° . Fue descubierto por los franceses Laques y Lacacheaux, y se pensaba que así como Tetis tiene dos satélites gregarios, también Dione debería tener otros tantos. Sin embargo la búsqueda por parte de los Voyager, de un Dione C, ha sido en vano. Dione B tiene una forma irregular, 36 x 32 x 30 km, y presenta un cráter en la superficie. Rea. Entre los satélites de hielo de Saturno es el más grande, con un diámetro de 1.530 km. Gira mucho más allá del último y más externo de los anillos saturnianos, a 527.200 km del planeta (8,74 radios planetarios). Al igual que Dione, presenta una diferenciación entre el hemisferio adelantado, que es más claro y mucho más craterizado (similar a los altiplanos de la Luna), y el hemisferio retrasado, que es más oscuro y atravesado, como el de Dione, por estrías más claras. Fue descubierto por CASSINI en 1672. De los dos Voyager el que lo ha observado desde más cerca es el primero, que se le acercó hasta 73.980 km. Titán. Es sin lugar a dudas el más interesante de los satélites, no sólo de Saturno, sino de todo el sistema solar. Es uno de los más grandes, con un diámetro de 5.150 km (aún no está claro si el primado pertenece a Ganímedes, satélite de Júpiter, a Titán, o a Tritón, satélite de Urano), y es el único satélite que tiene una atmósfera consistente y una superficie recubierta a trechos por elementos en estado líquido. La atmósfera de Titán está compuesta en un 85 % de nitrógeno, el 12 % de argón y el 3 % de metano y otras moléculas orgánicas complejas. La temperatura está muy por debajo del punto de congelación del agua y la presión en la superficie es aproximadamente una vez y media la de la Tierra. En estas condiciones los exobiólogos piensan que Titán tiene muchos puntos de contacto con la Tierra primitiva, y que por lo tanto puede constituir un laboratorio ideal para estudiar aquellos procesos químicos que llevaron al surgimiento de la vida. Con el fin de darle una ojeada más de cerca, la misión del Voyager 1 fue programada de manera que la sonda interplanetaria pasara a apenas 6.500 km de este cuerpo. No obstante las expectativas no fueron satisfechas debido a que el satélite, perennemente envuelto en una densa nube de smog, no se dejó penetrar por los sensores del Voyager. El aspecto de algún modo alucinante de Titán tiene que ver con su meteorología: existen formaciones nubosas a base de metano y otros hidrocarburos, que dan lugar a verdaderas lluvias y nevadas de gasolina. La densidad de Titán es casi el doble de la del agua, indicando la presencia de un núcleo rocoso y un albedo relativamente baja de aproximadamente el 20 %. Titán, con su magnitud de $8^m,4$, puede fácilmente verse desde la Tierra con un telescopio de aficionado. Hiperión. Le llaman el satélite hamburguesa a causa de su forma muy achatada. Gira en una órbita muy elíptica, a 1.483.000 km de distancia del planeta (24,58 radios), tiene dimensiones de 360 x 210 km presenta una superficie helada muy sucia (albedo de 30 %) y muy craterizada. Fue descubierto el 1848 por BOND y Lassel. De los dos Voyager, el que lo observó más de cerca fue el segundo, que pasó a 470.840 km de distancia. Japeto. Otro satélite helado, con un diámetro de 1 44 km y una gran órbita que lo hace girar a 3.560.101 km de Saturno en algo más de setenta y nueve días. No carece de características peculiares. El hemisferio adelantado se presenta como recubierto de humo negro y tiene un albedo apenas del 3 %; el retrasado es mucho más luminoso, con un albedo del 50 %. Algunos estudiosos han formulado la hipótesis de que el material oscuro proviene de los impactos de meteoritos con el cercano Febe, pero esta hipótesis ha sido muy controvertida. Japeto fue descubierto en 1671 por CASSINI. Febe. He aquí, en la extrema periferia del sistema saturniano, a 12.950.000 km del planeta (214,7 radios), donde está en

órbita el más alejado de los satélites descubiertos hasta ahora. Febe tiene un diámetro de 200 km, con una forma esférica bastante regular, pero escasamente conocido porque el Voyager 2, que le pasó cerca, lo hizo a 1.473.000 km de distancia. Tiene un albedo relativamente bajo, del 5 %, y se piensa que debe estar constituido por materiales carbonosos: de aquí la hipótesis de que los fragmentos que fueron arrojados en órbita por los impactos de los meteoritos con su superficie, pudieron caer en el hemisferio adelantado de Japeto y oscurecerlo. Febe se desplaza en su órbita en sentido retrógrado y, contrariamente a todos los demás satélites de Saturno, no tiene una rotación sincrónica con el planeta: en efecto, gira alrededor de su propio eje en unas diez horas. Tal vez se trata de un asteroide capturado y no de un satélite que se formó al mismo tiempo que el planeta. Según algunos, Febe podría ser el núcleo de un cometa que permaneció atrapado en el campo gravitacional de Saturno. Fue descubierto por el astrónomo americano PICKERING en 1898.

Scout. Es el cohete más pequeño de combustible sólido empleado por la NASA para poner en órbita terrestre a los satélites científicos. Está compuesto por cuatro secciones con una longitud total de 23 m. En su versión estándar pesa 21.450 kg y puede poner en órbita hasta un máximo de 175 kg de carga útil. La primera sección del Scout se llama Algol II, tiene una longitud de 9 m, un diámetro de 1 m y un empuje de 47.600 kg. Una versión mejorada de esta primera, el Algol III, es ligeramente más grande y tiene un empuje de 63.500 kg. La segunda sección se llama Castor II, tiene una longitud de 6 m, un diámetro de 76 cm y un empuje de 27.500 kg. La tercera sección, Antares II, tiene una longitud de 3 m, un diámetro de 76 cm y un empuje de 9.500 kg. La cuarta sección, por último, llamada Altair III, tiene una longitud de 1,8 m, un diámetro de 50 cm y un empuje de 2.700 kg. Con el Scout se han lanzado numerosos satélites de la serie Explorer y los satélites italianos San Marco.

SCHIAPARELLI, Giovanni V. 1835-1910 Astrónomo italiano cuyo nombre ha permanecido unido a las observaciones de los misteriosos canales de Marte y al descubrimiento de una correlación entre los enjambres periódicos de meteoros y el paso de cometas. SCHIAPARELLI fue uno de los más atentos estudiosos de la geografía de Marte y, desde la oposición de 1877 del planeta rojo, notó extrañas formaciones rectilíneas que bautizó canales, sin formular ninguna hipótesis sobre la naturaleza. El informe de SCHIAPARELLI traducido al inglés, incorporaba el término *canals* que implica, en esa lengua, una construcción artificial en lugar de emplear la más correcta de *channels*. A partir de aquí se difundió la convicción, sobre todo en los EE.UU. de que los canales marcianos eran obra de los habitantes de aquel planeta, debido a problemas de distribución del agua. SCHIAPARELLI no apoyó esta interpretación, de la cual se hizo en cambio portavoz su colega Percival LOWELL. El astrónomo italiano continuó casi hasta el final de sus días, observando con asiduidad no sólo el planeta Marte, sino también Mercurio y Venus. El misterio de los canales de Marte fue puesto en claro por las observaciones de las primeras sondas automáticas que llegaron a las proximidades del planeta. Lo cierto es que tales canales no existen y que se trata de una especie de ilusiones ópticas.

Schmidt (telescopio). Es un tipo de telescopio reflector caracterizado por la presencia de una fina lámina de vidrio con una curvatura especial para eliminar la aberración esférica. Fue inventado por el óptico estonio Bernhard

Voldemar SCHMIDT en 1930 y es empleado extensamente en la fotografía de los campos estelares, proporcionando imágenes amplias y sin distorsiones. Entre las cámaras Schmidt más grandes del mundo están la de Monte Palomar, la del observatorio angloaustraliano de Nueva Gales del Sur, la del observatorio Schwarzschild de la República Democrática Alemana y la del observatorio europeo de La Silla en Chile.

Secuencia principal. Es una curva en el interior del diagrama Hertzsprung-Russell, que sirve para explicar la evolución de las estrellas.

Seeing. Es un término introducido por los astrónomos ingleses pero ya usado internacionalmente para indicar la calidad de la atmósfera y el grado de la claridad de una imagen estelar. Con el fin de hacer una evaluación de las condiciones de "seeing" atmosférico, el astrónomo franco-griego Antoniadi introdujo una escala empírica, todavía usada en la actualidad, que comprende cinco grados partiendo de condiciones de seeing óptimo y terminando con seeing pésimo. Esta es: I) seeing perfecto, imágenes sin ningún temblequeo; II) ligeras ondulaciones de las imágenes, con momentos de calma; III) seeing moderado, caracterizado por perceptibles temblores de las imágenes; IV) seeing pobre, con constantes y molestas ondulaciones de las imágenes; V) seeing pésimo, con serias dificultades para discernir las imágenes. La escala ha sido marcada con números romanos para evitar que, en el contexto de una relación, puedan surgir equívocos con otras cifras árabes presentes.

Selenografía. Es la descripción de la superficie lunar hecha a través de observaciones ópticas, dibujos y fotografías. Los primeros selenógrafos fueron GALILEO y HERSCHEL, pero quien se dedicó con mayor entusiasmo a esta disciplina fue el astrónomo alemán Johann Jeronimus SCHROTER (1745-1816), quien desde su observatorio de Lilienthal realizó una serie de precisos dibujos de paisajes lunares. En nuestra época la selenografía está confiada, sobre todo, a las fotografías en proximidad de las sondas espaciales.

Selenología. Es una rama moderna de la astronomía y consiste en el estudio y evolución de la Luna como cuerpo celeste y de las estructuras que forman su superficie. Selenología es sinónimo de geología lunar.

Sensor. Es un aparato técnico que, en cierto modo, sirve para extender en el espacio los sentidos del hombre. En la práctica, un sensor espacial, montado sobre una sonda espacial o sobre una astronave, tiene la facultad de determinar la presencia de objetos naturales, o bien contruidos por el hombre, captando la energía que ellos emiten. Esta energía, obviamente, puede encontrarse bajo diversas formas: nuclear, electromagnética (esta última puede incluir tanto la porción visible del espectro como la invisible), química, biológica, mecánica, térmica, etc. Además de su función de investigación científica, los sensores desempeñan un papel importante como órganos de orientación de las naves espaciales. En este caso su función consiste en buscar y fijar con un ojo especial la luz de una estrella o de un planeta, de esta manera se consigue un sistema de orientación del que puede servirse el vehículo espacial en su viaje.

SETI. Con esta sigla, iniciales de Search for Extra Terrestrial Intelligence (búsqueda de inteligencia extraterrestre), son

genéricamente definidos aquellos programas que tienen como fin investigar sobre la posible existencia de civilizaciones evolucionadas en el espacio. Estos programas, en la actualidad, se realizan empleando algunas horas de ejercicio de grandes radiotelescopios a la escucha de señales provenientes del espacio profundo, las cuales podrían ser el producto de seres similares a nosotros, habitantes de planetas de estrellas lejanas. La sigla CETI, iniciales de Communication with Extra Terrestrial Intelligence (comunicación con inteligencias extraterrestres), es utilizada para el mismo tipo de búsqueda; sin embargo, comprende también el envío (y no sólo la escucha) de señales en el espacio, estudiadas especialmente para ser captadas por eventuales seres inteligentes.

Seyfert (galaxias de). Son sistemas de estrellas que presentan un núcleo pequeño pero muy voluminoso, conteniendo masas de gases en veloz movimiento. Estos elementos hacen pensar que el núcleo es sede de acontecimientos explosivos. El núcleo de una galaxia de Seyfert emite, por lo general, en muchas longitudes de onda: predominantemente en la región azul y ultravioleta del espectro electromagnético, pero también en el infrarrojo y a veces en las ondas de radio. En la base de estas emisiones se supone que se haya el proceso de radiación del Sincrotrón. Es relevante el que la energía total de la radiación emitida por el núcleo en el infrarrojo supere en mucho la emitida por la galaxia entera en el espectro visible, lo que refuerza la hipótesis de fenómenos explosivos en el centro. Muchos astrónomos consideran que estas galaxias representan una etapa evolutiva de los Quásar.

SHAPLEY, Harlow. 1885-1972 Astrónomo americano a quien se debe el importantísimo descubrimiento de las exactas dimensiones de nuestra Galaxia y de la posición de nuestro Sol en su interior. A comienzos de siglo se pensaba que el sistema de estrellas en el que nos encontramos tenía un diámetro en torno a 10.000 AL y que el Sol ocupaba una posición exactamente central SHAPLEY. utilizando como elementos de medida las estrellas variables del tipo de las Cefeidas contenidas en los cúmulos globulares (\rightarrow **cúmulos estelares**). dedujo que el diámetro de nuestra Galaxia debía ser una decena de veces superior, y que el Sol se encontraba a 30.000 AL de su centro. Este descubrimiento, confirmado por sucesivas observaciones, tuvo, según el juicio de algunos astrónomos, el alcance de la revolución copernicana porque demostró, una vez más, que el sistema solar no ocupa una posición privilegiada en el Universo. A partir de 1921 y hasta 1952, año en que se retiró de la actividad, SHAPLEY fue director del observatorio de Harvard.

SHEPARD, Alan Bartlett. Primer astronauta americano en ser enviado al espacio, aunque en un vuelo suborbital. Entró en el cuerpo de astronautas en 1959 y tuvo el honor de inaugurar la serie de los vuelos Mercury. Su cápsula, bautizada Freedom 7, fue lanzada el 5 de mayo de 1961 en un vuelo parabólico que apenas duró 15' y 22". SHEPARD alcanzó una altura máxima de 187,5 km después de lo cual descendió sin problemas en Atlántico. SHEPARD procedía, como todos los demás astronautas americanos de los primeros vuelos, de las filas de la fuerzas armadas. Para el proyecto Mercury, además de él, habían sido seleccionados otros 6 hombres entre más de 500 candidatos. Después de un periodo en el cual tuvo que retirarse de la actividad astronáutica por trastornos en el oído interno, SHEPARD volvió al espacio como jefe de un misión muy importante: el Apolo 14. Junto

con Edgar D. Mitchell, SHEPARD descendió en las proximidades del cráter Fra Mauro el 5 de febrero de 1971, realizando un paseo de casi 10 horas. Alan SHEPARD abandonó definitivamente el cuerpo de astronauta en el año 1974.

Sideral (tiempo). Es el tiempo determinado en base a la rotación aparente de las estrellas. Así, el día sideral es el periodo de tiempo entre dos pasos sucesivos por el meridiano (o culminación) de una misma estrella; tiene una duración de 23h 56m 04s, inferior en 3m 56s con respecto al día solar. El año sideral es el tiempo empleado por la Tierra en realizar una vuelta en su órbita con referencia a las estrellas fijas; tiene una duración de 365d 6h 9m 10s

Sideritas/siderolitas. Son, respectivamente, un tipo de meteorito de composición ferrosa y un tipo de composición pétreoferrosa.

Sincrotrón (radiación de). Es una forma de radiación electromagnética generada por el rapidísimo movimiento (próximo a la velocidad de la luz) de partículas elementales cargadas en el interior de campos magnéticos. Observadas por primera vez en laboratorio, en el interior de aceleradores de partículas que son precisamente llamadas sincrotrones, estas radiaciones han tomado el nombre de ellas. La longitud de onda de la radiación de sincrotrón depende tanto de la velocidad de las partículas, como de la intensidad del campo magnético atravesado. Pertenecen a la radiación de sincrotrón las ondas electromagnéticas emitidas por las erupciones solares, por las supernovas, por las radiogalaxias, por los quásar, etc.

Sirio (estrella). Es la estrella más brillante del cielo, con una luminosidad de $-1^m,47$. Es una estrella relativamente cercana al Sol (8,6 AL), alrededor de una vez y media más grande que él y de color blanco. Posee una pequeña compañera, una estrella Enana blanca que gira a su alrededor cada 50 años, pero que no es visible a simple vista porque tiene una luminosidad de $8^m,4$. Sirio se encuentra en la constelación del Can Menor y es bien visible en los meses invernales, en la inconfundible constelación de Orión.

Sirio (satélite). Satélite científico italiano para el estudio de las transmisiones en las superfrecuencias (12-18 gigahertz), es decir en aquellas frecuencias aún no utilizadas y en las cuales se proyecta canalizar el siempre creciente número de transmisiones vía satélite. Lanzado desde Cabo Cañaveral en septiembre de 1977 y diseñado para durar dos años, el Sirio ha permanecido activo, en órbita geoestacionaria, durante seis años. Un satélite gemelo del Sirio, lanzado en septiembre de 1982 desde el polígono de Kourou en la Guayana no llegó a la órbita por la explosión del transportador europeo Ariane.

Sistema Solar. Es un sistema de cuerpos celestes compuesto por el Sol (nuestra estrella) y por una multitud de cuerpos opacos: los planetas, los satélites de los planetas, los asteroides o planetas menores, los cometas, los meteoros, polvos y gases. Todos estos cuerpos opacos giran alrededor del Sol, que es el objeto de mayor masa ya que posee el 99,95 % de la existencia en el sistema solar, y están vinculados a él por la fuerza de gravedad. La fuerza de gravedad del Sol es ejercida en todas las direcciones alrededor suyo, hasta una distancia de alrededor de 2,4 AL. Nuestro sistema solar es, muy probablemente, uno de los tantísimos existentes en el Universo. De acuerdo con las concepciones más recién

tes, la formación de los planetas y de otros cuerpos menores alrededor de una estrella representa un proceso muy común. Las dimensiones de nuestro sistema solar, aunque parezca desmesurado y nuestras sondas espaciales empleen meses o años para llegar a los planetas, son pequeñísimas con respecto a las de toda la Galaxia (el sistema de estrellas al que pertenece el Sol), e incluso insignificantes con respecto a las del Universo. Ni la Tierra, ni el sistema solar del cual forma parte nuestro planeta, tienen nada de privilegio. Y, tal vez, incluso nuestra propia presencia no sea única en el ilimitado océano cósmico. Aunque el Sol extienda su dominio gravitacional hasta 2,4 AL (25 billones de km), los cuerpos más grandes del sistema solar, los planetas, se encuentran concentrados a distancias muy inferiores, dentro de un radio de alrededor de 6 mil millones de km. Es cierto que nuestros instrumentos de observación tienen dificultades en descubrir cuerpos de dimensión planetaria en los confines del dominio gravitacional del Sol, pero los astrónomos piensan que si existieran planetas gigantes (de las dimensiones de Júpiter) más allá de los 6 mil millones de km, habrían sido descubiertos. Por lo tanto es lícito suponer que por lo menos los cuerpos mayores están bastantes cerca del Sol. Los planetas conocidos hasta ahora son 9. Se pueden dividir en dos categorías: los planetas sólidos o terrestres (porque son similares a la Tierra en su constitución), que se encuentran desde 0,38 a 1,52 UA del Sol (recordemos que la UA, la unidad astronómica, es la distancia Sol-Tierra y corresponde a unos 150 millones de km); y los planetas gaseosos o jupiterianos (porque son similares a Júpiter), que se encuentran entre 5,20 y 39,44 UA del Sol. Entre estas dos familias de planetas existe una laguna ocupada por una gran cantidad de cuerpos menores: los asteroides o pequeños planetas. Los planetas sólidos o terrestres son cuatro, en orden de distancia del Sol: Mercurio, Venus, Tierra y Marte. Están caracterizados por dimensiones modestas, de 5.000 a 13.000 km de diámetro por una corteza sólida, un núcleo central metálico y por una atmósfera más o menos densa (este último hecho depende de la fuerza de la gravedad del planeta). Los planetas gaseosos o jupiterianos son cuatro, en orden de distancia del Sol: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, todos caracterizados por grandes dimensiones, de 50.000 a 140.000 km, con una composición predominantemente gaseosa y por la ausencia de corteza sólida. El noveno y más distante planeta, Plutón, aunque se encuentra en la zona de los planetas gigantes o gaseosos, no se puede definir como tal porque tiene dimensiones muy modestas, comparables a las de nuestra Luna. También su órbita es extraña y se considera por lo tanto que o bien se trata de un satélite de Neptuno que se escapó, o bien de uno de los elementos más grandes de un cinturón de asteroides que rodearía, por afuera, al sistema solar. Además de los nueve planetas, otros elementos relevantes de nuestro sistema son los satélites, cuerpos menores que giran alrededor de los propios planetas. Hasta ahora se conocen 40 pero es probable que las futuras exploraciones espaciales en proximidad, como ya ha sucedido con las sondas del tipo Voyager, pongan en evidencia otros. Los planetas con más satélites son Júpiter y Saturno. Los asteroides o planetas menores ocupan por lo general, como ya se ha señalado, la línea de demarcación entre planetas terrestres y planetas jupiterianos, tienen dimensiones variables desde 1.000 km (Ceres) a pocos centímetros y, de acuerdo con una hipótesis bastante seguida por los estudiosos, serían los fragmentos de un planeta que no logró condensarse a causa de la influencia gravitacional de Júpiter. Es relevante el hecho que la ley de Bode-Titius haya previsto la existencia de un cuerpo planetario allí donde fueron descubiertos estos asteroides. Otra

familia de cuerpos menores, pero de gran importancia para comprender el origen la constitución del sistema solar, es la de los Cometas, cúmulos de hielos congelados mezclados con granos de polvos que representan, probablemente, los cuerpos más antiguos e incontaminados del sistema. Las observaciones más recientes indican que existen millares de cometas formando una especie de caparazón esférica en los confines del sistema solar, a 2,4 AL del Sol, y que algunos de ellos, por efecto de los empujes gravitacionales producidos por una estrella cercana, se dirigen hacia el Sol y luego permanecen en órbitas periódicas entre los planetas. Emparentada tanto con los asteroides como con los cometas hay otra clase de objetos menores de nuestro sistema: los meteoros, pequeños fragmentos que vagan por el espacio y que, a veces, atraídos por la Tierra, caen al suelo y pueden ser recuperados. El espacio entre los planetas y los satélites no está por lo tanto vacío, sino lleno por una enorme cantidad de detritos sólidos, incluso por partículas gaseosas y por flujos de partículas elementales producidas por el Sol o provenientes de los espacios exteriores, que se mueven entre los campos magnéticos solares y planetarios. Los orígenes. Trataremos ahora de unificar todos estos elementos esparcidos, en el intento de explicar la génesis y evolución de nuestro sistema solar. Es preciso puntualizar que no existe una sola hipótesis para explicar estos hechos que, según los cálculos y las mediciones de fechas, se habrían producido entre unos 5 y 4,5 millones de años. Sin embargo, en líneas generales, la mayor parte de los estudiosos comparte la teoría de la nebulosa solar primordial, de la cual proporcionamos aquí una ilustración cualitativa. Todo comenzó en un brazo de nuestra Galaxia, el sistema de más de 100 mil millones de estrellas en el cual nos encontramos y que tiene forma de espiral. Aquí, junto a las estrellas, se mueven alrededor del centro de la Galaxia nubes compuestas en su mayor parte de gases (hidrógeno y helio) y en mínimas cantidades por granos sólidos (hielo, grafitos, silicatos, hierro). Los elementos constitutivos de estas nubes, desde los más livianos a los más pesados, son continuamente producidos en el curso de las reacciones nucleares que caracterizan la existencia de las estrellas; los elementos más pesados, en particular, son expulsados al espacio durante las fases explosivas de las supernovas. Habría sido precisamente un acontecimiento catastrófico, como la explosión de una supernova, lo que crearía inestabilidad gravitacional, que fue la responsable del comienzo de la contracción y el sucesivo colapso, es decir a la caída de las partículas hacia un centro común, de una gran nube de gas y polvos interestelares. El colapso, a su vez, generó vórtices que fragmentaron la nube en muchas partes, cada una de las cuales estaba dotada de un movimiento de rotación. La cuna de nuestro sistema solar fue uno de estos fragmentos en rápida rotación, que se iba achatando en forma de disco. En el centro del disco rotatorio, donde en grandes cantidades se precipitaban las partículas gaseosas y sólidas, la temperatura y la presión estaban en constante aumento. Aquí, una vez superados los parámetros críticos por el comienzo de la reacción nuclear de fusión del hidrógeno en helio, se enciende el Sol. A distancias crecientes de este embrión de estrella, mientras tanto, los golpes entre las partículas en caída habían producido densamientos locales que actuaban también como centros de atracción para la materia circundante: son los planetesimos, esbozos informes de los planetas. Las condiciones físicas de la nube primordial eran muy diferentes procediendo desde el núcleo hacia la periferia. En el centro estaban las temperaturas y las presiones más elevadas y, atraídas por la mayor fuerza de gravedad, las partículas más grandes y pesadas. Hacia la periferia, la

fuerza de gravedad y la temperatura decrecían, el gas estaba más rarificado los granos sólidos más pequeños y livianos. Esta diferenciación ha determinado una neta diversidad de constitución entre los planetas próximos y alejados. Los primeros (Mercurio, Venus, Tierra y Marte), carentes de los elementos más volátiles de la radiación solar, están constituidos por cúmulos sólidos de pequeñas dimensiones y alta densidad. Los segundos (Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón) han podido agrandarse utilizando, además de partículas sólidas más pesadas, abundante cantidad de gases y hielo. Por consiguiente están caracterizados por una baja densidad media y, con la excepción de Plutón, por sus grandes dimensiones. Incluso en el interior de cada planetésimo, las enormes presiones desencadenadas por los procesos de agregación de la materia y el calor liberado por la radioactividad natural, provocaron una fuerte subida de la temperatura. Pero aquí, al contrario de lo que sucede en el Sol, las masas y las temperaturas en juego eran menores y no se llegó a superar el umbral de fusión nuclear. Solo Júpiter, por lo que parece, ha estado cerca de esas condiciones. Si se hubiera encendido como una estrella, habríamos tenido un sistema binario similar a los tantos que se observan en nuestra Galaxia. En los planetésimos, la temperatura fue lo suficientemente alta como para provocar la fusión química de los materiales sólidos y una importante diferenciación interna: hacia el centro llegaron los elementos más densos, hacia la periferia salieron los menos densos. Esto explica el porqué la Tierra y muchos otros cuerpos del sistema solar tienen un núcleo metálico, en algunos casos casi hasta ahora en estado de fusión, y una corteza de silicatos rígida. En los cuerpos menores, satélites y planetas más pequeños, las temperaturas de agregación han sido modestas y la diversificación no se llevó a cabo. En las primeras fases de su juventud, el Sol, como otras estrellas de su tipo, atravesó un periodo de gran turbulencia en el curso del cual expulsó, a gran velocidad, grandes cantidades de materia y radiación. Es el viento de T-Tauri, llamado así por una estrella distante unos 3.300 AL de nosotros que está viviendo una infancia similar a la del Sol. Este huracán, que duró miles de años, tuvo una función fundamental en el aspecto actual del sistema solar: expulsó hacia el exterior la mayor parte de los detritos esparcidos un poco por todas partes. El huracán hoy se ha aplacado, pero no se ha extinguido por completo: continúa el viento solar, un flujo de partículas, sobre todo protones y electrones, que a nivel de la órbita terrestre tiene una velocidad variable entre 400 y 800 km/s. La obra de limpieza de los detritos fue llevada a cabo por los mecanismos de captura de cada planeta, que atrajeron hacia sí los cuerpos que vagaban, completando de este modo la última fase de su crecimiento. Algunos objetos escaparon a la caída destructora, pero no al dominio de los mayores centros de atracción y se convirtieron en satélites. Todos los cuerpos del sistema solar caracterizados por una corteza rígida han sido marcados para siempre por estos hechos y presentan una multiplicidad de cráteres, residuo del antiguo bombardeo. Sólo la Tierra, que desarrolló una densa atmósfera y un complejo sistema de fenómenos meteorológicos, ha eliminado, aunque no totalmente, esas marcas. Una vez terminada la limpieza, algunos materiales de construcción del sistema solar aún no utilizados permanecían esparcidos por muchos lugares. Por la parte de los planetas sólidos, concentrados entre las órbitas de Marte y Júpiter, había numerosos bloques informes de dimensiones variables desde algunos centímetros a algunos centenares de kilómetros. En cambio, por la parte de los planetas gaseosos había conglomerados de hielos y partículas sólidas. Complejos cálculos de dinámica del sistema solar han indicado que Júpiter habría desempeñado un

Júpiter habría desempeñado un papel determinante en el destino de ambos grupos de detritos. En el primer grupo, los asteroides, las perturbaciones gravitacionales del mayor planeta impidieron ese proceso de agregación que les habría llevado a convertirse a ellos mismos en un planeta. Sobre el segundo grupo, los núcleos de los futuros cometas, Júpiter actuó como expulsor, enviando al enjambre lejos de los planetas y confinándolo en los márgenes del campo gravitacional solar. De acuerdo con esta hipótesis, los cometas habrían nacido de los fragmentos menores en los que se subdividió la gran nebulosa interestelar primordial. Una gran cantidad de aquellos fragmentos se habría luego unido gravitacionalmente a los bordes de la nebulosa solar en formación. Se calcula que, para pasar de la nebulosa en contracción al Sol recién nacido y ya resplandeciente, pasaron 100.000 años: un tiempo corto, considerando que los planetas emplearon 500 millones de años en formarse. Situado hace 4,7/4,8 miles de millones de años, el comienzo de la contracción nebular, el acto de nacimiento del sistema solar puede fijarse por lo tanto hace unos 4,2/4,3 miles de millones de años.

Skylab. Nombre de la primera estación espacial orbital americana, realizada y convertida en operativa en el curso de 1973, en la cual se alternaron tres tripulaciones de tres hombres cada una por un periodo variable desde 29 a 84 días. Con el Skylab, los americanos, que a causa del programa lunar Apolo habían descuidado el trabajo y los experimentos en órbita terrestre, realizaron una serie de importantes estudios relativos a la fisiología humana en condiciones de ausencia de gravedad, observaciones geológicas, geofísicas y de recursos terrestres, observaciones astronómicas y experimentos de técnicas industriales para desarrollar en el espacio. El Skylab fue sacado de la tercera sección de supermisil Saturno V carente, obviamente, de los motores y de los depósitos de serie. Pesaba 75 toneladas tenía una longitud de 35,6 m (comprendidos los motores) y un volumen de 331 metros cúbicos. La estación espacial estaba compuesta de cuatro partes: el módulo de trabajo, comprendiendo también la sección del habitáculo de los astronautas con dimensiones de 14/7 m longitud y 6,6 de diámetro; una cámara de compensación, dotada de una portezuela para salir al espacio y conteniendo también instrumentos para el control operativo de la estación espacial, con dimensiones 5,4 m de longitud y 1,7-3 m de diámetro; el módulo de amarre, llevando en el extremo un sistema para Docking. Esta última parte contenía también instrumentos para la observación de la Tierra, un panel mando para pilotar los seis telescopios astronómicos montados en la estación, un horno para la fusión de los materiales y una cámara de alto vacío para experimentar nuevas técnicas de producción industrial. Las informaciones recogidas por el Skylab en el transcurso de las tres misiones son tan abundantes que pueden resumirse en las siguientes cifras records: 230 m² de fotografías de recursos terrestres, 70 km de datos científicos registrados en cinta, 200.000 imágenes del Sol y miles de temas astronómicos entre los cuales se encuentran las excepcionales tomas del cometa Kohoutek. El Skylab fue lanzado, sin hombres a bordo, el 14 de mayo de 1973 y colocado en una órbita casi circular a 435 km de altura. Inmediatamente después de la puesta en órbita se produjo una avería que puso en peligro a toda la estación espacial: el escudo contra los micrometeoritos, que debía cumplir también una función de reflexión de los rayos solares con el fin de evitar un sobrecalentamiento del Skylab, se separó y destruyó un panel de energía solar y dañó seriamente a otro. Diez días más tarde, el 25 de mayo de 1973, fue puesto en

órbita, a bordo de una astronave de tipo Apolo, el primer terceto de astronautas destinado a habitar el Skylab: Charles Conrad, Jose Kerwin y Paul Waltz. Después de un perfecto amarre se introdujeron en el Skylab y los tres hombres lograron, con una hábil actividad extravehicular, extender un parasol para enfriar la estación y reparar las células solares dañadas, llevándola así a plena efectividad. Su misión duró 28 días y 49 minutos, en el curso de los cuales inauguraron la actividad científica de la estación espacial orbital. Después de menos de un mes del retorno a tierra de la primera tripulación, el 28 de julio de 1973 otros tres astronautas alcanzaron el Skylab: se trataba de Alan BEAN, Owen GARRIOTT y Jack LOUSMA. Ellos instalaron un nuevo y más eficaz panel parasol e iniciaron una provechosa actividad de observación de los recursos terrestres y de las protuberancias solares. Retornaron a tierra el 25 de septiembre, después de 59 días y medio de permanencia en el espacio. La tercera y última misión del Skylab comenzó el 16 de noviembre de 1973, con la llegada a la estación espacial de los astronautas Gerald CARR, Edward GIBSON y William POGUE. Su trabajo más difícil consistió en una actividad extravehicular de 7 horas que llevaron a cabo el día de Navidad, durante la que cambiaron los films en los instrumentos de observación astronómica y observaron el espléndido cometa Kohoutek. Su misión se prolongó más allá de comienzos de 1974: retornaron felizmente a tierra el 8 de febrero, después de 84 días de permanencia en órbita. Después de estas tres misiones, la NASA decidió que el Skylab ya no estaba en condiciones de acoger nuevas tripulaciones: se hacían necesarios sustituciones y aprovisionamientos que una tripulación enviada en la Apolo no hubiera estado en condiciones de realizar, incluso por los límites de transporte de la propia astronave. Algunos propusieron entonces que el laboratorio podía repararse en el curso de los primeros vuelos del Space Shuttle que, en aquellos tiempos, se pensaba debían comenzar hacia finales de los años 70. Sin embargo, el Skylab no logró vivir tanto como para ser salvado por el shuttle. A causa del máximo de actividad solar y de la expansión de la atmósfera terrestre, la estación espacial americana entró en contacto prematuro con las rarificadas moléculas de aire, detuvo lentamente su velocidad orbital, perdió progresivamente altura y, en el verano de 1979, concluyó su existencia con una espectacular caída sobre la Tierra, no sin haber hecho saltar antes las alarmas en muchos países del mundo. La estructura del Skylab se desintegró en miles de trozos encima del Océano Índico, algunos de los cuales cayeron al suelo y fueron recuperados en territorios desérticos de Australia.

Sol. Es la estrella más cercana a nosotros; como las otras estrellas del Universo, emite luz y energía en virtud de los procesos nucleares que se llevan a cabo en su interior. El Sol ocupa una posición central en el sistema que lleva su nombre, contiene el 99,9 % de la masa de este sistema y gobierna, con su potente fuerza de gravedad, el movimiento de los nueve planetas y millares de otros cuerpos menores que giran a su alrededor. En el ámbito de la Galaxia, por otra parte, no ocupa ninguna posición de privilegio: es uno de los cientos de miles de millones de estrellas que la integran. Se encuentra a unos treinta años luz del centro de la Galaxia, alrededor de la cual gira a la velocidad de 250 km/s empleando doscientos veinticinco millones de años en dar una vuelta completa. Es una estrella de dimensiones mediano-pequeñas que ha llegado casi a la mitad de su propia existencia: pertenece a la llamada Población I. El Sol dista de nuestro planeta, en promedio, 149 millones de km, es decir alrededor de 380 veces más que la Luna y

270.000 veces menos que Próxima Centauri, la segunda estrella más próxima a nosotros. La luz del Sol, viajando a 300.000 km/s, emplea ocho minutos para llegar a la Tierra. La distancia Sol-Tierra ha sido elegida por los astrónomos como unidad de medida en el sistema solar y se llama Unidad Astronómica o más simplemente UA. Características físicas. El Sol tiene un diámetro de 1.392.000 km, 109 veces el de la Tierra; una masa de $1,99 \cdot 10^{27}$ toneladas, es decir, 330 000 veces mayor que la Tierra; y una densidad media de $1,4 \text{ g/cm}^3$; 1/4 con respecto a la de la Tierra. También su esfera, como la de todos los cuerpos celestes, está animada de un movimiento de rotación alrededor de su propio eje, pero en el Sol este movimiento es diferencial de acuerdo con las latitudes y ello es debido a la no homogeneidad de la composición de la materia solar. En efecto, el periodo es de 24,7 días en el ecuador, de 28,2 días a 45 de latitud, y de alrededor de treinta y cuatro días en los polos. El valor medio adoptado es de 25,38 días (que corresponde a la rotación medida a 15 de latitud) y es llamado periodo de rotación sideral. El ecuador solar está inclinado con respecto al plano de la órbita terrestre en un ángulo de 7 15 minutos. Desde la Tierra, el Sol se presenta como un disco de un diámetro aparente de medio grado; tiene un color amarillo, lo que corresponde a una temperatura media de su superficie visible de $6.000 \text{ }^\circ\text{C}$ (categoría espectral G 2). Su magnitud aparente es de $-26^m,5$; representa por lo tanto el objeto celeste más luminoso de nuestro cielo. Sin embargo, su magnitud absoluta es muy inferior: $+4^m,8$. Recordemos que las magnitudes absolutas de las otras estrellas están comprendidas entre -8^m y $+19^m$; el Sol ocupa por lo tanto, desde este punto de vista, una posición media en la escala de las magnitudes. La edad estimada del Sol (como por otra parte de todo el sistema solar) es de unos cinco mil millones de años y se calcula que nuestra estrella vivirá otro tanto antes de transformarse en una Enana blanca y terminar así su existencia. Composición y estructura. Los elementos ligeros, como puede deducirse de la densidad media, están en la base de la materia solar, que está compuesta predominantemente por hidrógeno (80 %), en menor porcentaje por helio (19 %, y por otros elementos (1 %). En lo que respecta a la estructura del Sol, partamos de su superficie visible o Fotosfera, es decir, esfera de luz y procedamos hacia su exterior. La fotosfera es una esfera de gas con un grosor de aproximadamente 300 km, cuyas temperaturas varían desde $9.000 \text{ }^\circ\text{C}$ en la base a $4.300 \text{ }^\circ\text{C}$ en la cima (la temperatura media de esta capa visible, como ya hemos dicho, es de $6.000 \text{ }^\circ\text{C}$), y también la sede de aquellos fenómenos a veces muy llamativos que toman el nombre de manchas. Por encima de la fotosfera, hay una envoltura gaseosa mucho más rarificada, con densidades unas mil veces inferior, llamada Cromosfera. Se extiende por unos 16.000 km sobre la fotosfera. Aquí las temperaturas varían desde los $4.300 \text{ }^\circ\text{C}$ de la zona inferior, al millón de grados de las capas más altas. La cromosfera no es visible a simple vista en condiciones normales, porque emite una luz muy débil, sin embargo puede observarse durante los Eclipses de Sol, cuando la Luna recubre el disco fotosférico. La cromosfera, literalmente esfera de color, debe su nombre a la tonalidad rosaraja que adquiere durante los eclipses. Siguiendo hacia arriba, hay otra capa de gas, muy rarificado, no visible a simple vista: la Corona, que adquiere temperaturas de cuatro millones de grados y está formada por flujos de gases ionizados, que emanan continuamente del Sol para irradiarse, bajo forma de Viento solar, en el espacio interplanetario. Como puede constatar, las temperaturas de las capas exteriores del Sol tienen un desarrollo bastante singular. En efecto, en la fotosfera, decrecen hacia el exterior, lo que es

muy comprensible ya que se alejan de la fuente de calor central; en la cromosfera y en la corona, en cambio, sucede lo contrario: hay un extraordinario aumento hacia la periferia del Sol. Hay diversas teorías para explicar este fenómeno: la más satisfactoria atribuye a corrientes eléctricas generadas por campos magnéticos variables la excitación y, por lo tanto, la altísima temperatura de las partículas gaseosas más externas. Pasemos ahora al interior del Sol. Para éste no existen observaciones directas pero, en base al comportamiento físico del astro, se han construido modelos teóricos que se aproximarían bastante a la realidad. De acuerdo con estos modelos el núcleo del Sol, que también es la sede de los procesos nucleares a los que se deben la producción de energía, se encuentra a 15 millones de grados; a medida que nos alejamos del núcleo, las temperaturas decrecen gradualmente hasta los valores determinados en la base de la fotosfera. La presión del núcleo solar alcanza valores de 221.000 millones de veces la terrestre a nivel del mar, y la densidad es de 134 g/cm^3 . En estas condiciones, los vínculos atómicos y moleculares que mantienen junta a la materia se dispersan y las partículas existen en estado ionizado. Desde el momento en que el Sol es estable, es decir que no hace explosión ni entra en colapso por sí mismo, debe subsistir un estado de equilibrio entre la energía por él generada, que tendería a expandir sus constituyentes gaseosos en el espacio, y la fuerza de gravedad que, por el contrario, tendería a hacerlo contraer hacia el centro. Mecanismos energéticos. La energía globalmente emitida por el Sol asciende a $3,8 \cdot 10^{23} \text{ kW}$; lo que equivale a decir que cada metro cuadrado de su superficie irradia 63.000 kW . La Tierra intercepta apenas una mil millonésima parte de esta energía, es decir $1,3 \text{ kW/m}^2$: este valor recibe el nombre de constante solar. Desde la antigüedad el hombre se pregunta cuál es el mecanismo de alimentación de la energía solar. Los procesos normales de combustión, obviamente, no contestaban la pregunta: si, por ejemplo, la enorme masa solar estuviera constituida de carbón, ya se habría consumido hace mucho tiempo. En los años treinta, con el descubrimiento de las interacciones nucleares y de los procesos de decaimiento radioactivo, se ha llegado a la conclusión de que el Sol podía mantenerse encendido durante miles de millones de años por una reacción de fusión termonuclear, es decir por la unión de átomos de hidrógeno que, fundiéndose conjuntamente y transformándose en helio, pierde una modesta fracción de su masa, que es convertida en energía en perfecto acuerdo con la bien conocida fórmula einsteiniana $E=mc^2$. Los procesos termonucleares en la base de la irradiación energética del Sol son en particular dos: el ciclo protón-protón y el ciclo del carbono. También son denominados ciclos Bethe del nombre del científico Hans A. BETHE, que los estudió por primera vez. El ciclo protón-protón es similar al que se produce en las bombas H. Dos protones (dos núcleos de hidrógeno), se unen para formar un núcleo de deuterio o deuteronio, liberando un positrón (electrón cargado positivamente) y un neutrino. El deuterio interactúa con los otros protones dando vida al helio-3 y liberando energía bajo forma de rayos γ . Dos núcleos de helio-3 producidos de este modo se unen y forman un núcleo estable de helio-4, liberando dos protones. El resultado final de estas reacciones es la transformación de cuatro átomos de hidrógeno en uno de helio. El ciclo del carbono comienza con la unión de protones (núcleos de hidrógeno) con un núcleo de carbono y en la transformación de este primero en un núcleo de nitrógeno y después en un núcleo de oxígeno. Este último, después de un breve periodo, se convierte nuevamente en un núcleo de carbono, desprendiendo un núcleo de helio. Se trata por lo tanto de una

cadena circular, cuyo efecto final es la conversión de hidrógeno en helio. Se considera que el ciclo energético más común en el Sol es el de protón-protón, que se produce a temperaturas ligeramente inferiores a 15 millones de grados; el ciclo del carbono es compatible con temperaturas más elevadas y sería por lo tanto el predominante en estrellas más calientes que el Sol. Por efecto de los procesos termonucleares, la masa transformada en energía sobre el Sol asciende a cuatro millones de toneladas por segundo; puede parecer enorme, pero es un porcentaje realmente insignificante con respecto a la masa total. La actividad solar. Observando el Sol, incluso por medio de un modesto telescopio (pero provisto del adecuado filtro, si no el observador se arriesgaría a perder la vista) uno puede darse cuenta de que la superficie está animada por diversos tipos de actividades. Las que llaman de inmediato la atención son las llamadas manchas, zonas oscuras de la fotosfera caracterizadas por una parte más densa en el centro (sombra) y una menos densa que rodea a la primera (penumbra). Estas aparecen habitualmente en grupos y tienen dimensiones variables llegando hasta centenares de veces el diámetro de la Tierra. Descritas por GALILEO inmediatamente después de la invención del telescopio, se hace referencia a ellas también en los antiguos anales chinos, demostrando así que las más importantes fueron observadas a simple vista también en la antigüedad. Con las manchas están relacionados potentes campos magnéticos: de aquí la hipótesis de que son zonas de la fotosfera enfriadas por las líneas de fuerza de estos campos magnéticos. Las temperaturas de las manchas son un millar de veces inferiores a las típicas de la fotosfera: su apariencia oscura es, por lo tanto, un efecto de contraste. La cantidad de manchas visibles en el Sol atraviesa un máximo y un mínimo, comprendidos en el periodo de un ciclo undecenal que es llamado ciclo solar. Al comienzo de un nuevo ciclo, inmediatamente después del mínimo, aparecen las primeras manchas entre las latitudes de 30° y 45° , tanto al norte como al sur del ecuador solar; en el transcurso de los meses también aparecen en latitudes más próximas al ecuador, aumentando el número hasta cuatro años y medio después del mínimo. Esta es la época del máximo de actividad solar. Sigue un periodo de seis años y medio, en el que la frecuencia de las manchas va decreciendo. Los máximos de actividad solar más recientes se produjeron en 1947, 1958, 1969 y 1980. Las manchas son la característica más fácilmente visible, pero no la única de la actividad solar. Siempre en la fotosfera aparecen las fáculas que, al contrario de las manchas, son regiones más cálidas y, por lo tanto más brillantes. También ellas parecen deberse a masas gaseosas dominadas por intensos campos magnéticos que, en este caso, tienen como efecto un aumento de la temperatura local. En la parte baja de la cromosfera, en cambio, tienen lugar los relumbrones, imprevistos, flashes, de luz con una duración de algunos minutos, que corresponden a zonas en las cuales se produce liberación de energía comparable a la explosión de millares de artefactos nucleares. Tienen un aspecto redondeado o vermicular y están acompañados por radiaciones en diversas longitudes de onda, desde rayos X a ondas radio. Contrariamente a lo que sucede con las manchas, las fáculas no pueden observarse por lo general con luz blanca, sino a la luz monocromática de hidrógeno o de calcio ionizado. Las manifestaciones más espectaculares de la actividad solar están seguramente representadas por las protuberancias, enormes chorros de hidrógeno que se elevan a centenares de miles de kilómetros, haciéndose visibles en el borde solar durante los eclipses de Sol. Las protuberancias se dividen en dos grandes categorías: las reposantes que pueden mantener su forma

durante varios días y las eruptivas que evolucionan muy rápidamente elevándose y volviendo a caer en el intervalo de pocas horas. Las protuberancias vistas en proyección bajo el disco del Sol, así como en el borde, se llaman filamentos. El estudio del Sol constituye hoy una rama propia de la astronomía y muchos observadores se dedican en la práctica solamente a ello. A través del estudio de los mecanismos de funcionamiento del Sol ha sido posible comprender el origen y evolución de las otras estrellas. Los recientes avances en el campo astronáutico, además, han permitido instalar en algunos satélites artificiales pequeños observatorios solares que analizan la actividad del Sol en longitudes de onda de radiación electromagnética inaccesibles desde tierra (rayos y X, ultravioletas, infrarrojos, etc.), así como su componente corpuscular. Entre los campos de investigación más modernos sobre el Sol está el relativo al estudio de sus pulsaciones, rítmicas dilataciones y contracciones en el globo solar con periodos que van desde algunos minutos a algunas horas, y cuyas causas son, en gran parte, desconocidas.

Solar Maximum Mission. Infortunado satélite científico para el estudio del Sol en su periodo de máxima actividad (1980), el Solar Maximum Mission fue colocado en órbita a 575 km de altura el 14 de febrero de 1980. Se trata de una nave con un peso de 8.800 kg, que contiene instrumentos para estudiar el Sol en diversas longitudes de onda, entre los cuales hay un coronógrafo para observar la corona hasta una distancia de siete radios solares. Lamentablemente, apenas nueve meses después de su puesta en órbita, un desperfecto en el sistema de dirección automática de los instrumentos ha limitado drásticamente las posibilidades del satélite. Se halla en estudio un intento para recuperarlo en el transcurso de una misión del Space Shuttle y tratar de repararlo.

Solsticios. El solsticio de verano (21 de junio) y el solsticio de invierno (22 de diciembre) en el hemisferio norte y a la inversa en el hemisferio sur, son los dos puntos de la órbita aparente del Sol en los cuales éste alcanza la máxima distancia angular norte y sur (aproximadamente 23,5) con respecto al ecuador celeste. Estos dos momentos marcan el comienzo, respectivamente, de la primavera y del invierno astronómico. El fenómeno está causado por la inclinación del eje terrestre con respecto al plano de la órbita o eclíptica.

Soyuz. Astronave soviética empleada desde 1967 tanto para vuelos de larga duración con dos o tres astronautas a bordo, como para misiones de amarre en órbita con las estaciones espaciales del tipo Salyut. La Soyuz tiene un peso total de 6.690 kg, un volumen habitable de 10,2 m cúbicos y está compuesta por tres módulos. 1) El módulo de trabajo orbital. Se encuentra en la parte anterior de la astronave, tiene una forma aproximadamente esférica y un diámetro de aproximadamente 2,50 m. Aquí se alojan los astronautas durante su permanencia en órbita. 2) El módulo de mando en el que los astronautas toman posición en la fase de partida y de retorno a tierra. Tiene la forma de una campana, una longitud de 2,2 m y un diámetro de 2,15 m. Ocupa la parte central de la astronave. 3) El módulo de servicio, de forma cilíndrica, con una longitud de 2,3 m y un diámetro de 2,2 m. Contiene los motores, los depósitos y los paneles solares para la producción de electricidad. Las astronaves Soyuz están dotadas de un túnel para el docking: una portezuela con acople cilíndrico que sirve para el paso de los hombres a otra astronave después de haberse llevado a cabo la ma-

niobra de acercamiento y amarre en órbita. Este se encuentra en la parte anterior del módulo de trabajo orbital. De las tres partes que constituyen la astronave, sólo el módulo de mando vuelve a tierra: las otras dos son abandonadas en el espacio antes de la maniobra de retorno. La serie de astronaves Soyuz, se ha visto ensombrecida por dos accidentes mortales. El primero se produjo precisamente en la fase final del vuelo inaugural. El 23 de abril de 1967, el veterano del espacio Vladimir KOMAROV era lanzado a bordo de la Soyuz 1 para un vuelo de prueba del nuevo vehículo; sin embargo, al día siguiente, después de haber realizado la nave 18 vueltas alrededor de la Tierra, el piloto no logró ya dominarla. Se decidió un retorno de emergencia que, en la primera parte, se desarrolló normalmente; después, al abrirse el paracaídas, los hilos se enredaron y el módulo de mando se estrelló contra el suelo, accidente en el cual encontró la muerte KOMAROV. El segundo accidente mortal se produjo años después, en 1971. La Soyuz 11, lanzada el 6 de junio con tres astronautas a bordo (Gregory DOBROVOLSKY, Victor PATSYEV y Vladislav VOLKOV) había amarrado felizmente con la estación espacial Salyut 1 y los hombres habían pasado a ella: habían transcurrido veintitrés días. En el momento del retorno, sin embargo, se produjo un imprevisto descenso de presión en la atmósfera de la cabina y los tres hombres murieron en pocos segundos. La Soyuz había sido diseñada de modo que los astronautas no tuvieran necesidad de ponerse los trajes en las dos fases más delicadas de la misión, la partida y el retorno; si se los hubieran puesto, se habrían salvado. A partir de aquel accidente, no sólo los astronautas de las Soyuz están obligados a vestir el traje en la partida y el retorno, sino que la tripulación se ha reducido a dos hombres. Entre las misiones más importantes de las Soyuz recordemos la decimonovena de la serie (julio de 1975), en la cual Aleksei LEONOV y Valeri KUBASOV amarraron con la nave americana Apolo en el ámbito del programa Apolo-Soyuz, la vigésimo primera (julio de 1976) en la que Boris VOLYNOV y Vitali ZOLOBOV amarraron perfectamente a la estación espacial Salyut 5, permaneciendo allí durante cuarenta y ocho días; la vigésimo novena (junio de 1978), en la cual Vladimir KOVALYONOK y Alecsandr IVANCHENKOV se unieron a la estación espacial Salyut 6 para una misión de ciento cuarenta días. Recordemos también que la Soyuz T-5, en 1982, transportó en el laboratorio Salyut 7 a Anatoli BEREZOVJ y a Valentín LEBEDEV, Idías. Algunas astronaves Soyuz, sin tripulación, han sido lanzadas hacia la Luna; recibieron el nombre de Zond.

Spacelab. Laboratorio espacial europeo realizado para ser utilizado junto con el Space Shuttle. Como consecuencia de un acuerdo estipulado por la Agencia Espacial Europea (ESA) con la NASA en 1973, se decidió desarrollar un programa común para el diseño y construcción de un laboratorio científico que pudiera caber en la gran bodega de la nave espacial; una vez en el espacio orbital, bien podrá permanecer anclado en la bodega o bien ser sacado al espacio flotando en el vacío junto a la propia nave, quedando unido a ella por medio de un túnel de un metro de diámetro para el paso de los astronautas. El proyecto tiene una gran importancia para Europa, no sólo porque permite participar en las empresas del transbordador espacial americano, sino también porque hace posible a los diez países que forman parte de la ESA, enviar astronautas al espacio y desarrollar una tecnología espacial que contempla la presencia del hombre. El Spacelab está compuesto de dos partes principales: un módulo presurizado y un pallet, es decir, una plataforma no presurizada. Veamos detalladamente como son: 1)

El módulo presurizado. Es la parte en la que podrán llevar a cabo sus experimentos hasta cuatro hombres, definidos como especialistas de carga útil para distinguirlos de los otros astronautas transportados en el transbordador espacial. Los especialistas no serán astronautas de carrera, sino estudiosos de la física, astronomía, biología, etc., aunque también sometidos a un adiestramiento especial. El módulo presurizado, en su configuración estándar, está formado por dos elementos cilíndricos unidos, con unas dimensiones de 4 metros de diámetro y 6,9 de longitud. Una de estas dos secciones albergará los paneles de control de los experimentos científicos, las calculadoras, etc.; la otra los sistemas de alimentación, presurización y termorregulación de todo el módulo. Constituido por una envoltura exterior de aluminio y un armazón, el módulo presurizado tiene un peso en el vacío de aproximadamente cuatro toneladas, puede transportar hasta 4,6 toneladas de materiales científicos y ofrece a los cuatro hombres de la tripulación un volumen útil de 22 m³. Los hombres ocuparán este módulo sólo el tiempo necesario para realizar los experimentos; el resto del tiempo dormirán y utilizarán los servicios del Space Shuttle, que podrán alcanzar fácilmente a través del túnel de unión. Dos grandes ventanillas, situadas en la parte superior del módulo, asegurarán la visión del espacio exterior. 2) El pallet. Es una estructura con sección en forma de U, que albergará todos los instrumentos para la realización de los experimentos a cielo abierto, es decir directamente en el vacío espacial. Esta estructura podrá por lo tanto alojar antenas, telescopios, sensores para la determinación de radiaciones corpusculares, etc. El pallet está constituido por elementos modulares, con una longitud de 3 m cada uno, y podrá estar formado por uno o más de estos elementos unidos entre sí y fijados en un extremo del módulo presurizado. Este último, de todos modos, podrá volar en órbita incluso sin la estructura a base de pallet. El procedimiento de las misiones conjuntas Space Shuttle/Spacelab prevé que durante el lanzamiento, la puesta en órbita, el retorno y el aterrizaje, el Spacelab permanezca inactivo (aunque el módulo esté presurizado) y las portezuelas que unen el laboratorio con el transbordador espacial se encuentren cerradas. Después de la puesta en órbita, se abren las puertas que comunican los dos vehículos y los especialistas de carga útil pueden pasar del transbordador al laboratorio. Los dos vehículos pueden volar en el espacio orbital comprendido entre los 200 y 900 km de altura, por periodos de una semana hasta un mes. Todas las partes del Spacelab son traídas a Tierra por el Space Shuttle y reutilizadas en sucesivas misiones después de un preciso y minucioso check-up en los laboratorios de tierra. En el decenio 1983-1993, durante el cual está previsto su empleo, el laboratorio espacial europeo deberá tomar parte en aproximadamente el 40 % de los vuelos programados del shuttle. Los experimentos científicos que se realizarán en el Spacelab pueden subdividirse en los siguientes temas principales: observaciones de la Tierra (meteorología, polución, fuentes terrestres y marinas, geología); ciencia de los materiales y procesos de fabricación integrada para comunicaciones globales); astronomía (estelar, solar y planetaria); física básica (atmósfera, plasmas, rayos cósmicos, astrofísica); medicina y biología (investigaciones sobre el hombre, cobayas inferiores y materiales biológicos); energía solar (investigaciones sobre los métodos para recoger la energía solar y enviarla a tierra); tecnologías avanzadas y sistemas espaciales del futuro (estaciones espaciales permanentes).

Space Shuttle. La traducción literal de estas palabras es "lanzadera espacial". Recordemos que lanzadera es el ins-

trumento que utilizan los tejedores para tramar y que por lo tanto en un telar va de un lado a otro. El verdadero significado de la palabra "shuttle" es por lo tanto "ir y venir" aunque en español se utiliza con mayor frecuencia "transbordador". De todos modos es el nombre dado a un revolucionario medio de transporte realizado por la NASA, que es puesto en órbita por medio de un cohete convencional, está en condiciones de permanecer en el espacio durante periodos comprendidos entre una semana y un mes y retorna a tierra planeando como un avión de línea. Sin embargo, como ya hemos dicho, el hecho absolutamente nuevo para un medio de transporte espacial es que el Space Shuttle no es un vehículo que se pierda en cada vuelo, como todas las astronaves de los años sesenta y setenta que le precedieron, sino que puede ser reutilizado durante una decena de veces con gran ahorro de materiales y sistemas de control sumamente evolucionados y avanzados. Los precedentes. La idea de un medio de transporte espacial reutilizable, es atribuida al pionero de la astronáutica Eugen SANGER (1905-1964), austríaco, profesor en la Universidad de Viena y después director de un instituto de investigación para los motores a chorro de la Luftwaffe. Entre finales de los años veinte y el decenio sucesivo, SANGER desarrolló los planes para un bombardero de largo alcance, propulsado por un motor a cohete, que habría tenido que realizar una altísima parábola, con la cima fuera de la atmósfera, y luego caer sobre el objetivo enemigo. El propio SANGER dio la idea de un empleo no bélico de este sistema, para ser utilizado como vehículo-lanzadera encargado del transporte de hombres y materiales al espacio para la construcción de una estación espacial. Werner VON BRAUN y otros recogieron con variaciones la idea de SANGER, diseñando los planos de construcción de vehículos similares, que sin embargo nunca fueron tomados en seria consideración por la Alemania de Hitler. En los años sesenta la US Air Force y la NASA desarrollaron proyectos de aviones a cohete que se inspiraban en las ideas de SANGER y VON BRAUN y que eran genéricamente llamados "lifting bodies", es decir vehículos portadores. Uno de estos, denominado X-15, fue realizado en tres ejemplares que alcanzaron prestaciones notables aun sin entrar en órbita. Soltados a 12.000 m de altura por un B-52 y a partir de allí impulsados por un motor propio a cohete con un empuje de 26.000 kg, los X-15 (que eran monoplazas) alcanzaron a principios de los años sesenta velocidades hipersónicas de 6.500 km/h y alturas de 108 km. El siguiente paso debía ser la realización del X-20, también llamado Dyna Soar, que habría tenido que ser lanzado y puesto en órbita por un cohete del tipo Titan III, dar algunas vueltas alrededor de la Tierra y entonces retornar como un planeador. El diseño de este vehículo, en escala reducida, era igual a la lanzadera actual. Sin embargo el proyecto no se llevó a cabo por dificultades técnicas y se prefirió seguir en el camino de las astronaves convencionales. Diez años después, no obstante, en la perspectiva de una prolongada permanencia del hombre en órbita y de la construcción de grandes bases espaciales alrededor de la Tierra, la necesidad de un vehículo reutilizable se hizo patente y la NASA retomó, ampliándolo y perfeccionándolo sobre la base de la experiencia adquirida con las misiones Apolo, el proyecto del planeador espacial, que se convertiría precisamente en el Space Shuttle. La estructura. El Space Shuttle, que al partir tiene un peso total de 2.000.000 kg, está formado por tres elementos primarios; el orbiter, que es la parte principal del vehículo destinada a poner en órbita y traer a la Tierra una tripulación de hasta siete hombres y la correspondiente carga útil; el depósito externo (External Tank), que contiene el propulsor líquido que alimenta a los tres

motores principales del orbiter; los dos propulsores auxiliares a combustible sólido (Solid Rocket Boosters), que son encendidos simultáneamente con los tres motores principales del orbiter, en la fase del despegue. 1) El orbiter tiene las dimensiones y la forma de un avión comercial. Tiene una longitud de 37,2 m, una altura de 17,4, una apertura alar de 24 m y un peso en vacío de alrededor de 68.000 kg (en términos generales las dimensiones de un DC-9); en su parte anterior posee una amplia cabina para la tripulación y en la posterior una amplia bodega, que ocupa la mayor parte de su extensión: 18,3 m de longitud, 4,6 m de ancho, 29.500 kg de carga útil transportable. El orbiter tiene, en el extremo posterior, tres motores principales que son encendidos al partir, cada uno es capaz de desarrollar un empuje de 13.000 kg; están alimentados con oxígeno e hidrógeno líquido desde un depósito exterior. Además tiene dos motores más pequeños, de 2.700 kg de empuje, que son encendidos en el espacio para realizar las maniobras orbitales. La cabina del orbiter está subdividida por dos puentes a tres niveles. En el nivel superior está el puente de mando, un lugar totalmente tapizado de paneles de guía y control, en cuyo centro hay dos asientos anatómicos en los cuales se sitúan el comandante de la misión y su segundo. Todos los sistemas están triplicados para ofrecer así la máxima garantía de seguridad en caso de averías. Dos ventanas anteriores, dos laterales y dos posteriores aseguran una visión de 360 del panorama exterior. A través de una escotilla y una escalerilla, desde el puente de mando se desciende a los cuartos de estar, llamados también puente del medio y constituidos por una habitación de 4 x 3,7 m. Aquí se encuentran las literas de la tripulación, la cocina, el baño, los armarios con las reservas de alimentos, y una pequeña cámara de descompresión (Airlock) para salir hacia el exterior. Bajo el puente del medio, por último, hay un espacio no habitable que contiene los sistemas de acondicionamiento y limpieza del ambiente de las salas de conducción y estar. En el interior de las cabinas se ha creado una confortable atmósfera artificial a base de nitrógeno (80 %) y oxígeno (20 %) y una presión correspondiente a la que hay a nivel del mar. Un sistema de ventilación forzada y filtros eliminan continuamente los residuos de cualquier naturaleza que, en ausencia de gravedad, quedaría flotando en las cabinas constituyendo un peligro para la respiración de los astronautas y para la instrumentación de a bordo. 2) El depósito exterior es el único elemento del Space Shuttle en ser abandonado después del uso. Tiene la forma de un huso que está sujeto a la panza del orbiter y es también la parte más grande de todo el sistema de transporte: mide 47 m de longitud y 8,5 m de diámetro. Contiene unos 700.000 kg de propulsor (hidrógeno y oxígeno líquido), que es bombeado durante los primeros ocho minutos después del lanzamiento hacia los tres motores del orbiter. Después de que se ha vaciado es automáticamente soltado del orbiter y cae en el mar sin ser recuperado. 3) Los auxiliares de propulsión a combustible sólido se hallan a un lado y otro del gran depósito exterior, pero al contrario de este último son recuperados y reutilizados. Están formados por dos cohetes con una longitud cada uno de 45,5 m, un diámetro de 3,7 m y capaces de proporcionar un empuje de 1.202.000 kg. Son encendidos en el momento de la partida, simultáneamente con los tres motores del orbiter, y se separan después de casi dos minutos. Cada uno de ellos está dotado de un sistema de dos paracaídas, uno de frenado y uno principal, que les hacen descender lentamente en el océano donde son recuperados por navíos. Después de una operación de mantenimiento, pueden ser reutilizados para un lanzamiento sucesivo. La misión. Una misión estándar del Space Shuttle prevé

las siguientes fases esenciales: A) Lanzamiento en vertical desde la misma torre de lanzamiento del Kennedy Space Center de Cabo Cañaveral, en Florida, desde el que parten las misiones Apolo hacia la Luna. Los tres motores principales del orbiter y los dos auxiliares de combustible sólido son activados simultáneamente a la hora cero. B) Después de aproximadamente dos minutos de vuelo, cuando el shuttle ya ha alcanzado los 50 km de altura y los 5.000 km/h de velocidad, se produce la separación de los dos auxiliares de propulsión. C) Ocho minutos después del lanzamiento, a 109 km de altura, antes que el orbiter haya alcanzado la órbita terrestre, se produce la separación del depósito exterior. En toda esta fase de ascenso los hombres de a bordo experimentan una fuerza de gravedad de apenas 3 g. (comparable a la que nosotros mismos experimentamos cuando nos encontramos en un coche que realiza una curva a gran velocidad). Los astronautas de las primeras cápsulas espaciales estaban sometidos en cambio a esfuerzos de aproximadamente 8 g, con grave perjuicio de su estado de lucidez mental. Este resultado ha sido obtenido gracias al empuje gradual proporcionado por los motores del Shuttle en su fase de ascenso. D) Inmediatamente después de la separación del depósito exterior, se encienden los dos motores de maniobra orbital, que proporcionan al orbiter el empuje necesario para entrar en una órbita circular a aproximadamente 215 km de altura, con una velocidad de unos 28.300 km/h E) La permanencia en órbita puede durar desde una semana a treinta días, durante los cuales el orbiter con la ayuda de sus motores de maniobra orbital, puede realizar evoluciones hasta 1.110 km de altura. Durante esta fase, parte de la tripulación, hasta un máximo de cuatro personas, puede pasar al laboratorio Spacelab que eventualmente ha sido transportado al interior de la bodega, o bien dedicarse al lanzamiento de satélites artificiales (también eventualmente transportados en la bodega), o a la actividad extravehicular, o incluso a la recuperación de un satélite en órbita por medio de un largo brazo articulado llamado manipulator arm, que se encuentra en la bodega, y a la sustitución de algunas partes del propio satélite que no funcionan, o bien a su transporte a tierra para observaciones. F) Realizada la misión orbital, para afrontar la fase del retorno, el orbiter se sitúa en una órbita de 141 km de altura con la parte posterior en el sentido de avance. Una hora antes del descenso se encienden los motores de maniobra orbital, para reducir así la velocidad e iniciar la lenta fase de caída orbital. Inmediatamente después, el piloto coloca al orbiter con la punta orientada hacia adelante. G) Media hora después el transbordador entra en las capas más altas de la atmósfera, a una altura de unos 122 km. El roce con las partículas de aire provoca un sobrecalentamiento de las partes exteriores del vehículo, a temperaturas comprendidas entre 1.370 y 1.650 °C. Sin embargo, la perfecta protección a base de placas antitérmicas impide que el orbiter se quemase como un meteoro y los hombres en el interior no advierten el más mínimo aumento de calor. El único inconveniente, en esta fase, está dado por un black-out total de las comunicaciones por radio, que dura un minuto. H) El shuttle ahora ya está dentro de la atmósfera e inicia una serie de maniobras para realizar la trayectoria exacta que lo conducirá a la pista de aterrizaje. A 23 km de altura el vehículo debe encontrarse ya en el exacto corredor de retorno. Su velocidad es de aproximadamente 1.900 km/h Toda esta maniobra se desarrolla en el silencio más absoluto, con los motores apagados: el shuttle vuela como un planeador. I) Algunos minutos después, a 4,2 km de altura, cuando la velocidad del shuttle se ha reducido a 530 km/h y su ángulo de descenso es seis veces más rápido que el de un avión

comercial, se inicia su aproximación a la pista. J) Todavía transcurrirán algunos minutos para que el shuttle, que se encuentra a una altura de 90 m del suelo, saque su tren de aterrizaje y descienda como un avión, a velocidades de 320 km/h. Hasta el 12 de abril de 1981, día en el que el primer Space Shuttle denominado Columbia fue lanzado y puesto en órbita en su vuelo inaugural con los dos astronautas John YOUNG y Robert Crippen, 43 americanos habían ido al espacio con naves de tipo convencional. El transbordador ha abierto, a partir de aquél momento, una nueva fase en la exploración espacial. Se prevé que a mediados de los años ochenta los vuelos del transbordador podrán realizarse al ritmo de uno por mes y ello llevará a una intensificación del empleo del espacio para fines científicos. Sin embargo, no puede olvidarse que los usos militares de la lanzadera serán notables y que el Departamento de Defensa de los EE.UU., financiará en un 30 % los vuelos futuros.

Sputnik. De una palabra rusa que quiere decir compañero, es el nombre dado a la famosa serie de satélites artificiales que inauguró la era de las exploraciones espaciales. El lanzamiento del Sputnik 1, el 4 de octubre de 1957, asombró al mundo porque nadie esperaba que la tecnología soviética estuviera avanzada hasta el punto de poner un objeto en órbita alrededor de la Tierra. El Sputnik 1 pesaba 83,6 kg, consistía en una esfera de aluminio de 58 cm de diámetro, con cuatro antenas de 2,5 m de longitud y contenía en su interior un equipo para la determinación de temperaturas y un radio transmisor. Realizando una vuelta alrededor de la Tierra cada noventa y seis minutos, entre los 228 y los 947 km de altura, el Sputnik proporcionó informaciones sobre las características de las capas más altas de la atmósfera de nuestro planeta. Menos de un mes después, el 3 de noviembre de 1957, cuando aún EE.UU. no se había repuesto del shock y trataba de organizar un programa espacial de largo alcance, fue lanzado el Sputnik 2, que pesaba 508 kg y transportaba el primer ser vivo al espacio, la perra Laika. El animal permaneció en órbita durante diez días, viviendo en un compartimiento cilíndrico y demostrando que los seres evolucionados podían sobrevivir en el espacio, desintegrándose después con el satélite al entrar en la atmósfera. La serie de los Sputnik continuó hasta 1961, comprendiendo tanto lanzamientos de equipo científico, como pruebas de astronaves sin tripulación que los rusos lanzaban bajo el nombre genérico de satélites. El Sputnik 4, que partió el 15 de mayo de 1960, no era otra cosa que un modelo Vostok sin hombres a bordo, es decir la misma astronave que poco más tarde sería lanzada con Yuri GAGARIN. La serie de estos satélites se terminó con el Sputnik 10, lanzado el 25 de marzo de 1961. Después los soviéticos dieron a los satélites artificiales de la Tierra el nombre de Cosmos, una numerosísima serie que aún continúa.

STAFFORD, Thomas Patten. Astronauta, nacido en 1930, comandante del Apolo en la histórica misión conjunta americano-soviética Apolo-Soyuz de julio de 1975. Habiendo entrado en el cuerpo de astronautas en 1962, STAFFORD voló por primera vez en diciembre de 1965 con la misión Géminis 6, que efectuó el primer rendez-vous espacial con la Géminis 7. En junio de 1966 fue comandante del vuelo Géminis 9 y en mayo de 1969 del Apolo 10, que constituyó el ensayo general para el descenso en la Luna. Después del vuelo Apolo-Soyuz, STAFFORD dejó el cuerpo de astronautas y se convirtió en director del Air Force Air Test Center en Edwards, California.

Supernova. Es una estrella que estalla y lanza a todo su alrededor la mayor parte de su masa a altísimas velocidades. Después de este fenómeno explosivo se pueden producir dos casos: o la estrella es completamente destruida, o bien permanece su núcleo central que, a su vez, entra en colapso por sí mismo dando vida a un objeto muy macizo como una estrella de neutrones o un Agujero negro. El fenómeno de la explosión de una supernova es similar al de la explosión de una Nova, pero con la diferencia sustancial de que, en el primer caso, las energías en juego son un millón de veces superiores. Cuando se produce un acontecimiento catastrófico de este tipo, los astrónomos ven encenderse de improviso en el cielo una estrella que puede alcanzar magnitudes aparentes de -6m o más. La explosión de una supernova es un fenómeno relativamente raro. De todos modos tenemos testimonios de hechos de este tipo: en 1054, cuando se encendió una estrella en la constelación de Tauro, cuyos restos aún pueden observarse bajo la forma de la espléndida Crab Nebula (→ *Cangrejo, nebulosa del*); en 1572, cuando el gran astrónomo Tycho BRAHE observó una supernova brillando en la constelación de Casiopea; en 1640, cuando un fenómeno análogo fue contemplado por KEPLER. Todas estas son apariciones de supernovas que estallaron en nuestra Galaxia. Hoy se calcula que cada galaxia produce, en promedio, una supernova cada seis siglos. Una famosa supernova de una galaxia exterior es la aparecida en 1885 en Andrómeda.

Surveyor. Serie de siete naves automáticas que efectuaron descensos suaves sobre la Luna, realizando observaciones y análisis del suelo y abriendo el camino para los sucesivos alunizajes de las misiones Apolo. Los Surveyor estaban constituidos por una estructura con forma de trípode, a la que se hallaban unidos los cajones para experimentos científicos, los depósitos de propulsor y, en la cima, los paneles solares. La altura total era de tres metros, el peso al partir unos 1.000 kg. Alcanzada la órbita lunar la nave era desacelerada por el encendido de un retrocohetes que proporcionaba un empuje de 4.536 kg y que inmediatamente después era expulsado. Entonces entraban en acción tres pequeños motores a chorro que disminuían la velocidad del Surveyor hasta 5 km/h; después la nave descendía sobre suelo lunar y sus tres patas de aluminio amortiguaban el golpe. En cada Surveyor había una telecámara con foco variable, que estaba dirigida hacia un espejo giratorio. Los Surveyor número 3 y 7 transportaron un brazo mecánico para un análisis de la consistencia del suelo; los número 5, 6 y 7 tenían montado un pequeño laboratorio de análisis químicos, gracias al cual se determinó la naturaleza basáltica de las rocas lunares. El Surveyor 3, que descendió en el Océano de las Tempestades el 20 de abril de 1967, se convirtió dos años y medio después, en objeto de una interesante verificación de carácter biológico. Los astronautas del Apolo 12, en efecto, descendieron a poca distancia suya el 19 de noviembre de 1969, desmontaron la telecámara y la trajeron a la Tierra para que fuera estudiado el grado de deterioro de los materiales después de una prolongada permanencia sobre la superficie lunar. Los biólogos descubrieron que, a pesar de las hostiles condiciones ambientales, algunos grupos de bacterias terrestres habían sobrevivido durante todo aquel tiempo. Gracias a los resultados totales obtenidos por la serie Surveyor, se pudo demostrar que la consistencia del suelo lunar permitía las operaciones de descenso suave, y por lo tanto el programa de la exploración humana de la Luna podía desarrollarse sobre bases más seguras. El programa Surveyor fue dirigido, por cuenta de la NASA, por el Jet Propulsion Laboratory del California Institute of Technology (Caltech). La construc-

ción de la sonda fue confiada a la Hughes Aircraft Company.

T

THALES de Mileto. 624 a. J.C. - 546 a. J.C. Científico y filósofo griego, considerado como uno de los fundadores de la física. THALES se ocupó también de astronomía y en particular del movimiento del Sol. Logró prever el eclipse del 28 de mayo del año 585 a. J.C., el mismo que, según la leyenda, puso fin a la batalla entre lidios y medos. THALES consideraba que la Tierra era un disco plano y que el elemento base del Universo era el agua.

Tectitas. Nombre dado en 1900 por el geólogo austríaco Edward Suess a una clase particular de detritos celestes de origen problemático, encontrados en diversas partes de nuestro planeta. El nombre, del griego *tektos* (es decir fundido), se refiere a los signos de fusión que presentan estos objetos, que se asemejan a fragmentos de vidrio oscuro del tipo de la oxidiana. Al análisis químico presentan abundancia en silicio y aluminio. Tienen las formas más diversas: botones, amígdalas, esponjas, etc.; dimensiones del orden de algunos centímetros, y peso de algunas decenas de gramos. Así como los Meteoritos, también las tectitas se han descubierto en la superficie de la Tierra. Sin embargo, estas últimas presentan concentraciones preferenciales. El primer campo de tectitas, de una amplitud de algunos miles de km², fue descubierto a finales del 1700 en la Europa Central, precisamente en Moldavia: motivo por el cual fueron llamadas moldavitas. Otros campos de análogas dimensiones fueron encontrados más tarde en EE.UU., en África Ecuatorial, en el Extremo Oriente y en Australia. Con los métodos de la determinación radioactiva se ha podido establecer que las tectitas más antiguas son las de EE.UU. (alrededor de 34 millones de años). En lo que respecta a su génesis, serían materiales de origen lunar o terrestre que saltaron al espacio a causa del impacto producido por un asteroide, y después cayeron sobre la Tierra.

Telescopio. Es un instrumento que tiene la función de recoger la luz proveniente de un objeto lejano y ampliarlo. Gracias a estos requisitos el telescopio se ha convertido, a partir de comienzos del siglo XVII, en el artífice de la astronomía moderna. El descubrimiento del telescopio es atribuido, casi contemporáneamente, al holandés Hans LIPPERSHEY y a GALILEO en 1609. Parece ser que GALILEO se enteró de que un óptico flamenco había realizado un instrumento con el cual era posible ver objetos lejanos como más próximos. Se puso de inmediato al trabajo y, estudiando los efectos combinados de una lente biconvexa (una lente de aumento) y una divergente (las lentes para miopes), obtuvo el resultado deseado. Los primeros telescopios realizados por GALILEO no ampliaban más que unas pocas veces los objetos lejanos, pero en un segundo momento perfeccionó el instrumento, obteniendo hasta unos treinta aumentos. Con estos instrumentos GALILEO pudo ser el primero en inaugurar las observaciones astronómicas con el telescopio y descubrir los cráteres de la Luna, las fases de Venus, los satélites de Júpiter, los anillos de Saturno (que sin embargo no interpretó como tales, sino como dos estrellitas que acompañaban al planeta) y las manchas del Sol, haciendo así dar un gran salto hacia adelante a la ciencia del cielo. El telescopio de GALILEO funcionaba con el mismo principio con el que en la actualidad se construyen los binoculares de

teatro: una lente convexa como objetivo y una divergente como ocular. En 1611 KEPLER encontró otra combinación de lentes, a partir de la cual nació el telescopio astronómico propiamente dicho. Consistía en una lente convexa como objetivo y otra convexa como ocular. Esta combinación, sin embargo, no da una imagen derecha, como la del telescopio galileano, sino una imagen invertida e inconveniente que, sin embargo, no altera la calidad de las observaciones astronómicas. Un telescopio, además de la evidente ventaja de agrandar los objetos, revela cuerpos celestes de débil luminosidad y por lo tanto invisibles a simple vista, gracias a que su objetivo es capaz de percibir más luz que nuestro ojo. En términos generales es válida la regla de que cuanto mayor es el diámetro del objetivo (y por lo tanto su superficie), mayor es la cantidad de luz que capta. Además, siempre del diámetro del objetivo de un telescopio (que se suele definir más brevemente apertura de un telescopio) depende el Poder de resolución del instrumento. Los primeros telescopios en consolidarse durante todo el siglo XVII fueron los del tipo kepleriano, que eran construidos con longitudes focales de hasta 30 ó 40 m, con el fin de tener un gran número de aumentos. Estos, obviamente, proporcionaban imágenes vacilantes y con notables Aberraciones, hasta el punto que resulta difícil comprender cómo los pioneros de la astronomía óptica, como HUYGENS y CASSINI, fueron capaces de realizar tantas observaciones y descubrimientos con esos instrumentos tan rudimentarios. A comienzos del siglo XVIII se incorpora a la astronomía de observación el telescopio con el objetivo constituido por un espejo cóncavo y una lente. Desde este momento los Reflectores (los telescopios con espejo se llaman así porque la luz es reflejada y dirigida hacia un foco) y los Refractores (los telescopios de lentes se llaman así porque la luz es refractada, es decir desviada pasando a través del objetivo) entrarán en disputa con suerte alterna hasta mediados del siglo XX, cuando triunfarán de manera definitiva los grandes reflectores (→ *Observatorio astronómico*). Mientras el telescopio refractor tiene pocas variantes, estando formado por un tubo que contiene en un extremo el objetivo y en el otro el ocular, el reflector existe en una variedad de tipos. Los fundamentales son los siguientes. Reflector newtoniano. Es el tipo de reflector más clásico, realizado por Isaac NEWTON y consistente en un tubo base se ha colocado el espejo cóncavo (espejo primario); este refleja los rayos hacia el otro extremo del tubo, donde se encuentra un espejito plano (espejo secundario) que intercepta los rayos luminosos antes de que se enfoquen y los desvía 90° enviándolos hacia el ocular. Reflector Cassegrain. Es una variante del precedente y consiste en que el espejito secundario es convexo y envía los rayos luminosos hacia atrás, a través de un agujero realizado en el centro del espejo primario, desde donde salen hacia el ocular. La solución Cassegrain fue propuesta por el óptico francés de ese nombre, contemporáneo de NEWTON, y presenta la ventaja de que el operador puede observar desde la base del telescopio, así como también desde el extremo superior, lo que, cuando los telescopios tienen longitudes focales de algunos metros, resulta muy cómodo. Reflector Schmidt. También esta es una variante del newtoniano propuesta en 1931 por el óptico alemán Bernhard SCHMIDT, con el fin de eliminar la aberración

esférica producida por los espejos parabólicos. El resultado se obtiene por medio de una placa correctora de vidrio colocada en la embocadura del telescopio; por este motivo el sistema Schmidt puede considerarse como una fusión entre los principios del reflector y el refractor. Este sistema ofrece imágenes de un campo muy amplio y gran luminosidad, por lo cual es empleado en los reflectores destinados a trabajos fotográficos. Sus variantes son el Schmidt-Cassegrain, en el que la placa correctora es aplicada a un telescopio del tipo Cassegrain, y el Maksutov (del homónimo astrónomo soviético que lo realizó en 1944), en el que la placa correctora está formada por una lente con forma de menisco. La posibilidad de realizar espejos de gran diámetro (hasta 5 6 metros) y los menores costos de producción de estos con respecto a las lentes, han determinado el éxito, en las últimas décadas, de los telescopios reflectores.

Telstar. Nombre de dos famosos satélites para telecomunicaciones americanos, construidos por la American Telephone and Telegraph Company para efectuar los primeros experimentos de transmisiones televisivas, telefónicas y telegráficas con repetidores situados en órbita terrestre. Los satélites Telstar, lanzados respectivamente el 10 de julio de 1962 y el 7 de mayo de 1963, estaban constituidos por una pequeña esfera con un diámetro de 81 cm, recubierta por células solares. Recibían las transmisiones en las frecuencias de 6,39 gigaHertz y retransmitían a 4,18 gigaHertz. Podían efectuar experimentos conectando simultáneamente 600 circuitos telefónicos o bien un canal de TV.

Terminador. Es la línea que divide la parte iluminada y oscura de un planeta o bien de un satélite. De acuerdo con la vertiente, une los puntos en los que está saliendo o poniéndose el Sol.

Tether (satélite). Literalmente significa satélite con correa, se trata de un original proyecto ideado por el profesor Giuseppe Colombo, estudioso de mecánica celeste perteneciente a la Universidad de Padua, que deberá realizarse en Italia en colaboración con la NASA en el ámbito de los vuelos del Space Shuttle. El satélite con correa tiene numerosas aplicaciones, tanto de investigación de base como aplicada. Consiste en una cuerda, un extremo de la cual se sujeta a la nave y el otro a uno o más instrumentos de medida. La longitud de la correa puede variar desde algunas decenas de metros hasta algún centenar. Cuando el hilo está dirigido hacia abajo, hacia la Tierra, un satélite unido él en la parte inferior podrá estudiar las capas de la alta atmósfera, que no pueden ser recorridas por un satélite normal porque éste, frenado por las partículas de aire, detendría su marcha precipitándose hacia abajo. La cuerda podrá también dirigirse hacia arriba y, en este caso, servir de montacargas para enviar a una órbita más elevada materiales transportados en la bodega del Space Shuttle. Otra aplicación importante es la relativa a la producción de energía eléctrica. En efecto, el hilo, cortando el campo magnético terrestre, estará en condiciones de funcionar como un dínamo. Los primeros experimentos con el satélite con correa deberán comenzar entre 1987 y 1988, simultáneamente al probable envío de un astronauta italiano en el Space-Shuttle.

Tetis. Cuarto entre los principales satélites de Saturno en orden de distancia del planeta, descubierto en 1684 por el astrónomo Gian Domenico CASSINI y observado desde cerca por las sondas automáticas Voyager. Tiene un diámetro de 1.000 km y está compuesto principalmente por hielos.

Thor. Transportador de lanzamiento americano de la primera generación, derivado de un misil balístico de medio alcance. En la configuración de base, el Thor tenía una altura de 19,8 m, con un diámetro de 2,4 m; disponía de un motor de 70.000 kg de empuje alimentado con oxígeno líquido y queroseno. A comienzos de los años 60 fue modificado para así servir en los lanzamientos de satélites artificiales en órbita terrestre y de sondas espaciales hacia los planetas.

Tierra. En esta voz nos ocuparemos de la Tierra hablando de sus características generales como planeta del sistema solar, haciendo apenas referencia a sus características geológicas y geofísicas. La Tierra es el tercer planeta en orden de distancia desde el Sol, forma parte, junto con Mercurio, Venus y Marte, de los llamados planetas sólidos, y es el único en albergar, por lo que sabemos hasta hoy, formas evolucionadas de vida. Características físicas. La Tierra gira alrededor del Sol en una órbita poco excéntrica ($e = 0,0167$) acercándose a él hasta 152,1 millones de km. Su distancia media es de 149,6 millones de km y es utilizada por los astrónomos como unidad de medida de las distancias en el sistema solar, bajo la definición de Unidad Astronómica (UA). El plano de esta órbita es tomado como referencia para medir las inclinaciones de los planos orbitales de los otros planetas los que, a excepción del Plutón, se separan en pocos grados o fracciones con respecto a este. La Tierra emplea 365,256 días para realizar una vuelta completa alrededor del Sol (este periodo es llamado periodo sideral, es decir referido a las estrellas fijas), desplazándose a la velocidad de 29,79 km/seg. a lo largo de su órbita. Nuestro planeta también está animado de un movimiento de revolución alrededor de su propio eje que, medido con respecto al Sol, se realiza en 24h (día solar). La inclinación del eje terrestre con respecto al plano de la órbita es de $66^{\circ} 33'$ (con respecto al eje de la órbita es de $23^{\circ} 27'$). La masa de la Tierra es de $5,976 \cdot 10^{24}$ kg y su densidad media de $5,52 \text{ g/cm}^3$, es decir unas cinco veces mayor que la del agua. Se trata de la densidad más elevada con respecto a los otros planetas interiores. En cuanto a dimensiones, la Tierra tiene una radio medio de 6.371 km, es el más grande de los planetas sólidos, pero tiene un volumen 1.316 veces más pequeño que el del gigante Júpiter. Su forma no es perfectamente esférica, siendo su radio ligeramente más grande en el Ecuador (6.378 km) que en los polos (donde llega a los 6.356 km). Origen y constitución. La Tierra se formó con el Sol y los otros planetas hace alrededor de 4,6 mil millones de años por efecto de la condensación de una nube de gas y polvo interestelar (\rightarrow *Sistema solar*). Cuando nuestro planeta estaba todavía en estado semifluido, se creó una diferenciación interna en virtud de la cual los elementos más densos, como el hierro, precipitaron al centro formando un núcleo más pesado; los menos densos, como los silicatos, permanecieron en la superficie para constituir la corteza que está formada por los minerales más livianos. Estos procesos también estuvieron acompañados por una desgasificación provocada tanto por el calor solar, como por el calor interno de la Tierra de origen radioactivo. Más tarde, gracias a las emisiones gaseosas de tipo volcánico, se recreó una atmósfera primitiva que después fue evolucionando con la aparición de la actividad biológica. Nuestros conocimientos del interior de la Tierra se basan en el estudio del comportamiento de las ondas sísmicas, tanto de las originadas por terremotos naturales, como las artificiales (explosivos convencionales o nucleares que generan ondas que se propagan en el interior de la Tierra a distintas velocidades, de acuerdo con el medio que atraviesan). Por este camino se ha podido efectuar una especie de radiografía tridimensional

de la Tierra, que da resultados de acuerdo con las hipótesis sobre el origen y formación de nuestro planeta que ya hemos mencionado. El globo terráqueo está formado por una corteza sólida, la litosfera que tiene un espesor medio de 90 km y una composición predominante de rocas silicáticas (SiO₂). Inmediatamente por debajo está el manto, que llega hasta una profundidad aproximada de 2.900 km, caracterizado por material rocoso en estado semifluido. Aún más abajo, hasta el centro de la Tierra, hay un núcleo con una composición mayoritaria de hierro que en su parte más exterior, desde los 2.900 km a los 1.800 km de profundidad, está en estado fluido; en la parte más interna está nuevamente en estado sólido. Las densidades de estas capas van desde un mínimo de 2,8 g/cm³ en la litosfera, a un máximo de 13,5 g/cm³ en el núcleo interior. Los movimientos de fluidos en el interior de la Tierra y las corrientes eléctricas generadas por ellas, están en la base del intenso campo magnético que rodea nuestro planeta y que toma el nombre de Magnetosfera. Este campo, a su vez, tiene notables interacciones con las partículas cargadas contenidas en el Viento solar. La litosfera no es rígida, sino fracturada en una veintena de bloques o placas continentales que flotan, como balsas, sobre el vasto océano formado por el manto y son desplazados muy lentamente por los movimientos convectivos que animan al material semifluido que constituye el propio manto. Hay placas que se alejan una de otra, dejando que material semifluido suba para formar nueva litosfera; y placas que se acercan chocando y montándose incluso una sobre otra. Un ejemplo del primer caso se encuentra entre los bloques americanos, por un lado, y el europeo y africano por otro, que en una época estaban unidos (los bordes atlánticos de estos bloques se unen entre sí de manera sorprendente) y ahora están muy distantes. El nuevo material que llena los vacíos dejados por su retroceso, surge de esa larga bisagra que es la dorsal medioatlántica. Dos bloques en fase colisional son en cambio, el europeo y el africano. Este último empuja desde el Sur y emerge sobre el primero. Formación de montañas, terremotos y erupciones volcánicas están unidos a esta dinámica de la superficie terrestre. Hoy algunos planetólogos consideran que procesos análogos podrían producirse en el planeta Venus. La Tierra es un planeta dotado de una rica atmósfera, a la que debemos el nacimiento y desarrollo de la vida. Interaccionando con la radiación solar incidente, es la base también de todos los procesos meteorológicos que caracterizan nuestro planeta. Vista desde el espacio, la Tierra se presenta como un planeta de un intenso color azul, precisamente en virtud de su capa atmosférica y al hecho de que los dos tercios de su superficie están recubiertos por agua. A menudo, vastas áreas de su superficie están recubiertas de imponentes sistemas nubosos que se forman por la evaporación de las aguas, gracias a los cuales no se acaba el sistema de circulación atmosférico que caracteriza las diferentes estaciones del año. No lejos de la Tierra, a una distancia media de 384.000 km, orbita la Luna, su único satélite, descrito en la voz correspondiente. Debido a que el diámetro de la Luna con respecto al de nuestro planeta (poco menos de 1/3), es inusual para un satélite, algunos estudios han formulado la hipótesis de que el sistema Tierra-Luna sea un planeta doble. Sin embargo, la diversidad de composición no apoya esta idea y hoy se piensa sobre todo en un proceso de captura.

Tiros. Serie de diez satélites meteorológicos americanos lanzados entre abril de 1960 y julio de 1965. Llamados así de las iniciales de Television Infra-Red Observation Satellite, estos satélites efectuaron las primeras determinaciones

precisas del equilibrio térmico de la Tierra y proporcionaron una cantidad de más de medio millón de fotografías, tanto en luz blanca como infrarroja, gracias a las cuales se pudo valorar la importancia de los satélites meteorológicos para hacer las previsiones del tiempo. Los "Tiros" fueron después seguidos por los más sofisticados Nimbus y NOAA.

Titan. Misil americano muy versátil que ha tenido un amplio empleo en las misiones espaciales en órbita terrestre realizado en diversas versiones. El Titan II fue el artífice de los lanzamientos de las astronaves Géminis, estaba compuesto de una primera sección de 19,2 metros con un empuje de 195.000 kg, y una segunda sección de 8,2 m, con un empuje de 45.000 kg. El Titan III B era una extensión del Titan II, caracterizada por el agregado de una tercera sección Agena y empleada para lanzamientos interplanetarios. El Titan III C derivaba del Titan II, pero con el agregado de dos booster de propulsor sólido adheridos al huso principal. Este último ha sido empleado para poner en órbita, simultáneamente, hasta 8 satélites, tanto para usos científicos como militares.

Titán. Es el mayor de los satélites de Saturno (5.150 km de diámetro) y uno de los más interesantes de todo el sistema solar, porque presenta un fenómeno único para esta clase de cuerpos celestes: la existencia de una densa atmósfera que, por algunos aspectos, parece similar a la atmósfera primordial de la Tierra. Perennemente inmerso en hielo, ha sido explorado desde cerca por los Voyager y probablemente será analizado por una futura sonda que deberá establecer la existencia de procesos prebióticos.

Titania. Cuarto satélite de Urano en orden de distancia del planeta, descubierto en el año 1787 por el astrónomo William HERSCHEL. Está en órbita alrededor del planeta a una distancia media de 483.370 km y completa una vuelta en aproximadamente ocho días y 16 horas. Su diámetro es de 1.800 km.

Titov, German. 1 935 Astronauta soviético, nacido en 1935, segundo hombre en ir al espacio después de su compañero Juri GAGARIN. TITOV, lanzado a bordo de la Vostok 2 el 6 de agosto de 1961, realizó un vuelo de 17 órbitas permaneciendo en gravedad cero durante 25 horas y media, pero sufrió náuseas y trastornos en el sentido de la orientación. Sucesivamente ocupó también el cargo de comandante del cuerpo de astronautas de la Unión Soviética.

TOLOMEO, Claudio. 90-168 d. J.C. aprox. Astrónomo, geógrafo y matemático de la escuela alejandrina, a quien puede considerarse como el último de los grandes científicos de la antigüedad clásica. TOLOMEO condicionó, durante varios siglos, la cultura astronómica porque su sistema del mundo, que hacía a la Tierra inmóvil en el centro del Universo, fue considerado como válido hasta la gran revolución de COPÉRNICO y GALILEO. Fue autor de monumentales obras como la Geografía, en la que describió todo el mundo hasta entonces conocido, atribuyéndole sin embargo a la Tierra dimensiones de aproximadamente un tercio inferiores a las correctamente determinadas por su predecesor ERATÓSTENES. La summa de su saber astronómico está contenida en el Almagesto donde reproduce, extendiéndolo, el catálogo de HIPARCO. TOLOMEO se dedicó también, como era obligación para los científicos de su tiempo, a la *→astrología* y escribió un tratado titulado "Tetrabiblos" en el que resume las creencias de su tiempo sobre la influencia de los astros en los actos humanos.

Torre solar. Las longitudes focales de un telescopio convencional son demasiado pequeñas para obtener una buena resolución de los detalles de la superficie solar. Con este fin se construyen torres solares, típicamente constituidas por una cúpula situada sobre una alta estructura. La cúpula alberga un Celostato, es decir, un sistema de espejos que desvía la imagen solar en vertical, al centro de la estructura. En la base de esta se encuentra un telescopio fijo, montado verticalmente, que no tiene por lo tanto necesidad de ser orientado. Es posible, de este modo, efectuar cómodas observaciones y análisis espectrales de los fenómenos que se producen en la superficie visible de nuestra estrella.

Tránsito. Con este término los astrónomos indican el paso de un cuerpo celeste por el meridiano, es decir a través de ese arco máximo que une idealmente el punto cardinal Norte con el Sur pasando por el cenit. Las medidas del tránsito de las estrellas son importantes para resolver problemas de \rightarrow astrometría y medida del tiempo. Con la palabra tránsito se indica también el paso de los planetas internos a la órbita terrestre (Mercurio y Venus) sobre el disco del Sol.

Tritón. Es el satélite más grande de Neptuno y uno de los mayores de todo el sistema solar. Las estimaciones sobre su diámetro, a causa de la enorme distancia que nos separa de él, no son precisas y varían desde un mínimo de 3.600 a un máximo de 5.200 km. Describe alrededor del planeta una órbita con movimiento retrógrado, a una distancia media de 355.000 km similar a la de Tierra-Luna.

Trópicos. Del verbo del griego antiguo, trépomai, retorno, son los dos paralelos de la esfera celeste, situados a $23^{\circ} 27'$ al Norte y al Sur del Ecuador, que el Sol describe, aparentemente, el día del Solsticio de verano (22 de junio) y el día del solsticio de invierno (22 de diciembre). Estos dos paralelos se llaman, respectivamente, Trópico de Cáncer y Trópico de Capricornio.

Troposfera. Es la capa más baja de la atmósfera terrestre, sede de los fenómenos meteorológicos. Se extiende desde el nivel del suelo hasta 11 km de altura y está caracterizada por temperaturas decrecientes del orden de 7°C por km. En la parte superior de la troposfera está la tropopausa, que marca el fin de la estratosfera. La troposfera es la capa atmosférica que causa más problemas a los astrónomos, porque impide una buena observación de los astros. Por estos motivos, se están multiplicando las iniciativas dirigidas a la realización de grandes telescopios espaciales orbitales, como el Space Telescope.

T-Tauri. Es el nombre dado a una clase de estrellas variables irregulares que se encuentran frecuentemente en grupos, las llamadas Asociaciones-T, junto con grandes masas de gases y polvo interestelar. Desde un punto de vista evolutivo se piensa que se trata de estrellas nacientes, que van contrayéndose del gas y los polvos en las que están inmersas y que comienzan a rotar vertiginosamente junto con un disco de materia protoplanetaria, muy similar a aquella de la cual se formó nuestro sistema solar. Su nombre proviene de la estrella prototipo de su clase, que se encuentra en la constelación de Tauro.

Tunguska. Nombre de un afluente del río Yenisei en el altiplano siberiano, que, por asociación, se le ha dado a uno de los acontecimientos colisionales más misteriosos de un cuerpo celeste con nuestro planeta. El 30 de junio de 1908,

a las 7,17 horas de la mañana, los habitantes de ciudades y pueblos en el corazón de Siberia, a Norte del lago Baikal, vieron en el cielo un objeto similar al disco solar, pero con una luminosidad aún más ennegecedora. Se desplazó de Sur-Este a NorOeste, dejando atrás una estela de humo; después cayó acompañado de estruendo en una zona deshabitada inmediatamente al Norte del río llamado Tunguska medio o rocoso. Las exactas coordenadas geográficas del lugar de caída, determinadas unos diecinueve años después del impacto son: $60^{\circ} 55'$ de latitud Norte y $101^{\circ} 57'$ de longitud Este. De los testimonios recogidos surge de inmediato que la caída del cuerpo celeste había ocasionado un desastre de grandes proporciones, quemando bosque, matando animales y aterrorizando a los nativos tungusi que habitaban en las pobres cabañas próximas al lugar de caída. También los efectos indirectos del bólido son notables: los destellos son vistos en un radio de 700 km desde el lugar de caída y el ruido dentro de los 1.000 km. Los sismógrafos de todo el mundo registran el choque, que allí se atribuye a un acontecimiento sísmico, los barógrafos registran un desplazamiento de aire y durante algunas noches después del 30 de junio se producen en la Europa Central un extraño fenómeno: crepúsculos de un rojo fuego se prolongan más de lo normal. Algo similar sucedió en 1883, después de la explosión volcánica del Krakatoa, cuando los polvos lanzados hacia la alta atmósfera por el volcán, reflejaban la luz del Sol en plena noche. Las condiciones político-económicas de la Rusia zarista en 1908, no permitían el envío de una expedición científica. Esto se hace trece años después, en 1921, por iniciativa de un geólogo del Museo de mineralogía de Leningrado, Leonid A. KULIK (1883-1942), quien, acompañado de guías locales, llegó a la zona de los hechos. KULIK descubrió que el impacto del cuerpo celeste había quemado 2.000 km² de bosque, encuentra todavía los árboles derribados y piensa en la caída de un meteorito de grandes dimensiones. Sin embargo no encuentra rastros ni de cráter, ni de fragmentos meteoríticos. Vuelve varias veces a la zona acompañado de Evgheni L. Krinov, un estudioso de meteoritos, sin llegar a resolver el fenómeno de Tunguska. El geólogo de Leningrado muere en 1943, en la guerra, y las investigaciones son continuadas por estudiosos como el geoquímico Kirill P. Florensky y otros. En los últimos años se ha afirmado la hipótesis que explicaría tanto los fenómenos observados, como la falta de trazas del cuerpo que chocó. La catástrofe habría sido causada por un fragmento que se separó del cuerpo principal del cometa de Encke (un Cometa periódico que realiza una vuelta alrededor del Sol cada tres años) que al entrar en contacto con las capas más densas de la atmósfera hizo explosión antes de tocar el suelo, desarrollando una energía equivalente a la explosión de 12 millones de toneladas de TNT y volatilizándose por completo. Recordemos que la materia de la que están constituidos los cometas es muy incoherente y de baja densidad, lo que explicaría la ausencia de un cráter en el terreno, la ausencia de fragmentos meteoríticos sólidos y, por último, las partículas que permanecieron en suspensión en la atmósfera fueron las responsables del fenómeno de las noches luminosas. Esta hipótesis, corroborada en 1978 por cálculos efectuados por el cometólogo Lubor Kresak, es la considerada hoy como más probable, aunque no la única. Otros atribuyen el desastre de Tunguska al impacto de cuerpos celestes exóticos como un mini agujero negro, un fragmento de antimateria o incluso una astronave extraña. Pero obviamente todas estas no son más que reconstrucciones fantásticas.

Tyuratam. Nombre del polígono de lanzamiento soviético más importante, más comúnmente conocido como Baikonur.

U

UFO. Forma abreviada de Unidentified Flying Objects, es decir objetos voladores no identificados. Es la definición anglosajona dada a aquellos fenómenos, aparentemente inexplicables, que tienen que ver con la aparición de objetos tanto en el cielo diurno como nocturno. Se señalan repetidamente avistamientos de UFOs tanto por gente de ciudad o del campo, como por observadores especializados en la denominada «vigilancia» del cielo. Sin embargo, se ha demostrado que la mayor parte de estas apariciones se debe a una errónea interpretación de fenómenos bien conocidos. Así, por ejemplo, se confunden con UFOs satélites artificiales en órbita terrestre que reflejan los rayos del Sol hacia la Tierra, globos sonda que vuelan en la alta atmósfera, fenómenos eléctricos de la troposfera, fenómenos como las auroras, meteoros, meteoritos, y bólidos, veloces pasadas de jets y sus estelas, emisiones de gases naturales desde el suelo o de las profundidades marinas, etc. Un gran número de presuntos UFO, además, se debe a sugerencias colectivas o individuales que se manifiestan en determinados períodos de tensión política y social, que a veces se ven estimulados por la literatura de ciencia ficción. Por todos estos motivos, muchos científicos consideran que, a la vista de un minucioso análisis, todas las observaciones de UFO pueden reconducirse a una fenomenología conocida; otros en cambio, son del parecer que permanecen casos inexplicados e inexplicables. La creencia popular es que los UFO son la manifestación de criaturas extraterrestres que nos observan desde lo alto, y que de cuando en cuando nos visitan. Sin embargo, hasta este momento, no existe ninguna evidencia o prueba científica de un contacto con criaturas evolucionadas de otros mundos.

Uhuru. Satélite astronómico dedicado a la observación de los rayos X de origen cósmico. Fue lanzado en 1970 desde la plataforma italiana San Marco, en la costa de Kenya, y su nombre deriva de una palabra que en dialecto swahili quiere decir libertad. Fue el primer satélite empleado para los estudios de este tipo. Su funcionamiento, durante casi cuatro años, llevó al descubrimiento de numerosas fuentes de rayos X, tanto en el interior de nuestra galaxia como fuera, y permitió realizar el trazado de un mapa. Algunas de estas fuentes están constituidas por sistemas binarios: dos astros que están en órbita alrededor de un baricentro común; en particular algunas de ellas podrían ser Estrellas de neutrones o Agujeros negros.

Ultravioleta (astronomía del). Es el estudio de los cuerpos celestes en la región ultravioleta del espectro, es decir en las longitudes de onda comprendidas entre los 3.000 y los 300 Ångstrom. La radiación ultravioleta es absorbida por la atmósfera y, por lo tanto, es indispensable enviar satélites en órbita alrededor de la Tierra con el fin de estudiarla. El análisis de la radiación ultravioleta ha permitido descubrir no sólo los mecanismos físicos de algunas estrellas muy calientes y jóvenes que emiten en estas longitudes de onda, y la distribución de tales estrellas en las lejanas galaxias, sino también la presencia de grandes cantidades de hidrógeno en estado molecular en el espacio interestelar. Las

moléculas de hidrógeno, en efecto, producen líneas de absorción ultravioletas sobre los espectros de las estrellas que están detrás suyo. También se ha revelado muy importante el estudio ultravioleta de algunos procesos energéticos solares, como las erupciones y los relumbrones. Para el estudio de la radiación ultravioleta se utilizan satélites especiales. Entre los más importantes recordemos los de la serie OAO (Orbiting Astronomical Observatory), los OSO y los IUE.

Umbriel. Tercer satélite de Urano, en orden de distancia, descubierto en 1851 por el astrónomo W. Lassell. Gira a una distancia de 267.000 km del planeta con un período de 4,1 días. Tiene un radio de 450 km y una densidad doble con respecto a la del agua. Se piensa que su composición sea de hielos mezclados con silicatos.

Unidad astronómica. Distancia media Tierra-Sol, equivalente a 149.597.910 km, elegida como unidad de medida en el ámbito del sistema solar. Expresadas en UA (forma abreviada), las distancias de los planetas del Sol son: Mercurio 0,387; Venus 0,723; Tierra 1,00; Marte 1,524; Júpiter 5,203; Saturno 9,539; Urano 13,182; Neptuno 30,058; Plutón 39,44.

Universo. El Universo es todo lo que nos rodea: la materia, el espacio y el tiempo. Los antiguos creían que el Universo estaba constituido por una gran esfera a la que se hallaban adheridas las estrellas fijas. En su interior, los planetas y el Sol ocupaban esferas de radio cada vez más pequeño y la Tierra se mantenía inmóvil en el centro. Esta era la denominada visión geocéntrica del Universo, que predominó desde el tiempo de los filósofos de la Grecia clásica hasta la gran revolución científica llevada a cabo por COPÉRNICO y GALILEO en los siglos XVI y XVII. Sin embargo, aunque la contribución de estos grandes llevó a un exacto conocimiento de la estructura de nuestro sistema solar, las ideas sobre la estructura y dimensiones del Universo íntegro permanecieron relativamente limitadas y confusas hasta el nacimiento de la astrofísica, a comienzos del siglo XX. Hoy sabemos que el Sol, con el cortejo de planetas que lo acompaña, no es más que una de las tantas estrellas de nuestra Galaxia y que ésta, a su vez, no es más que uno de los tantos sistemas de estrellas en los que se concentra la materia del Universo. En lo que respecta al resto del Universo, está esencialmente constituido por inmensos espacios vacíos. La historia de las teorías desarrolladas, en las diversas épocas, sobre el origen y estructura del Universo es el tema de la Cosmología.

Urano. Séptimo planeta en orden de distancia desde el Sol, Urano es el primero de los planetas lejanos que aún no ha sido explorado desde cerca por las sondas automáticas: lo será, gracias al Voyager 2, en enero de 1986. Desconocido para los antiguos, que creían que el sistema solar terminaba con Saturno, Urano fue seguramente visto en los siglos pasados incluso a simple vista porque, en el máximo de su esplendor durante las oposiciones favorables, alcanza una luminosidad cercana a la sexta magnitud. Urano posee la

primicia de ser el primer planeta descubierto por medio del telescopio: el mérito corresponde al gran astrónomo alemán William HERSCHEL que lo individualiza con uno de sus instrumentos el 13 de marzo de 1781. El estudio de las irregularidades del movimiento de Urano sirvió en el siglo siguiente (1846), para descubrir Neptuno. Características físicas. Urano gira alrededor del Sol a una distancia media de 2.869.600.000 km (poco más de 19 veces la distancia Tierra-Sol), empleando 84,01 años en realizar una órbita completa. El plan de su órbita coincide casi con el de la eclíptica, es decir con el plano de la órbita terrestre, con respecto a la cual está inclinado en apenas $0,77^\circ$. La órbita es discretamente excéntrica: 0,047, lo que significa que entre el punto de mínima y el de máxima distancia del Sol, hay una separación de 269.000.000 km. La rotación del planeta alrededor de su propio eje, debido a la enorme distancia que nos separa y a lo inadecuado de las observaciones con telescopio, se conoce con aproximación: debería ser de unas quince horas. Una de las características más peculiares del planeta se refiere a su eje de rotación, que está inclinado con respecto a la vertical unos 98° y le confiere al planeta una rotación retrógrada. Visto al telescopio, Urano aparece como un pequeño disco de color gris, y ni siquiera los mejores instrumentos están en condiciones de revelar algún detalle de la superficie como estrías o manchas. Este hecho, obviamente, ha complicado las dificultades relativas a la determinación del periodo de rotación. Las estimaciones más recientes indican que Urano tiene un radio ecuatorial de 26.145 km (cuatro veces el terrestre) y una masa 14,54 veces la terrestre. Su densidad resulta poco superior a la del agua: $1,2 \text{ g/cm}^3$. Estructura. Se piensa que Urano tiene un núcleo rocoso de un diámetro aproximado de 16.000 km, recubierto por una capa de hielo del espesor de unos 8.000 km. Por encima de la capa helada habría una densa atmósfera a base de hidrógeno y tal vez helio. Lo que nosotros observamos desde tierra es la parte más externa de esta atmósfera, que debería desarrollar un sistema de nubes a base de amoníaco y metano impenetrable a los rayos solares. Las temperaturas en la parte más alta de la atmósfera se hallan alrededor de los 200 grados bajo cero. Uno de los descubrimientos más importantes relativos a la estructura de este planeta se llevó a cabo el 10 de marzo de 1977, cuando el disco de Urano ocultó una estrellita de novena magnitud de la constelación de Libra. Los astrónomos aprovechan siempre estas circunstancias, porque permiten efectuar estimaciones indirectas sobre cuerpos celestes del sistema solar como, por ejemplo, determinaciones de sus formas, dimensiones, existencia de una atmósfera, etc. Sin embargo en aquella ocasión sucedió mucho más: cuando aún el disquito de Urano no había pasado por encima de la estrellita de Libra, el astro se ocultó y volvió a aparecer otras veces consecutivamente, como si una estructura alrededor del planeta, invisible con los telescopios terrestres, la hubiera recubierto por zonas. Hechos los debidos cálculos, resultó que el fenómeno había sido provocado por 5 anillos similares a los de Saturno, pero mucho más delgados. Un año después el 10 de abril de 1978, otra ocultación por parte de Urano confirmó el descubrimiento precedente y llevó a 9 el número de los anillos determinables, por esta vía, alrededor del planeta. De ellos los tres más internos parecen ser casi circulares y yacen en el mismo plano, los sucesivos son ligeramente elípticos. Tienen radios variables desde 41.900 km del más interior (el cual se encuentra, por lo tanto, a unos 15.000 km de altura con respecto a la superficie del planeta) a los 51.200 del más externo. En lo que respecta a su composición, desde el momento que parecen poseer un poder reflector menor que los anillos de Saturno,

se piensa que podrían no ser de hielo, sino de materiales rocosos. No se excluye, como ya ha sucedido con Júpiter y Saturno, que la exploración desde sus cercanías por parte del Voyager, aporte novedades sobre el sistema anular de Urano. Satélites. Los satélites conocidos de Urano son cinco: sus nombres a partir del más interior son: Miranda, Ariel, Umbriel, Titania y Oberón. Poco se sabe de su estructura y composición, ya que hasta ahora se han limitado a observaciones desde tierra, pero también en este caso será notable la contribución a su conocimiento de la misión Voyager 2. Desde un punto de vista dinámico, es sorprendente el hecho de que los planos orbitales de estos cinco satélites coincidan con el plano ecuatorial del planeta, el cual, como ya hemos dicho antes, está muy inclinado. Para ser precisos, hemos hablado de inclinación del eje polar en unos 98° con respecto a la vertical, pero ello equivale a decir que también el ecuador está inclinado en el mismo valor con respecto al plano horizontal. Algunos astrónomos han formulado la hipótesis que la formación de estos satélites es la responsable del hecho que ha inclinado tanto al eje del planeta.

UV Ceti (estrellas). Tipo de estrellas variables, llamadas así por el nombre de la estrella prototipo que se encuentra en la constelación de la Ballena (Cetus en latín). Se trata de estrellas enanas rojas, que tienen una magnitud generalmente muy pequeña y que, a causa de fenómenos explosivos, experimentan un imprevisto y breve aumento de luminosidad. Como consecuencia de este fenómeno, la magnitud puede aumentar hasta 250 veces y las estrellas pueden hacerse visibles a simple vista. Desde el punto de vista evolutivo estos astros, llamados también "estrellas de flare" (del inglés erupción), parecen ser muy jóvenes y por lo tanto caracterizados por una notable inestabilidad. Hasta ahora se han determinado unas treinta, pero los astrónomos son de la opinión que pueden ser muchas más, incluso aunque su magnitud, por lo general muy pequeña, no permita descubrirlas.

V

V-2. Se le puede considerar como el moderno precursor de los misiles, tanto de tipo balístico como espacial. Desarrollado sobre todo por el científico Werner VON BRAUN, durante la segunda guerra mundial, el cohete "V-2" se probó por primera vez con éxito el 3 de octubre de 1942 y fue el primero capaz de superar la velocidad del sonido. Sus características físicas eran: longitud 14 m; diámetro 1,65 m; peso 12.700 kg; empuje 25.400 kg; capacidad de transporte de carga útil, 1.000 kg; alcance 300 km. El primer misil "V-2" fue lanzado desde Peenemünde contra los ingleses el 6 de septiembre de 1944. Inmediatamente después de la derrota alemana, VON BRAUN fue trasladado a EE.UU.

Van Allen (cinturones de). Son dos fajas, formadas por partículas cargadas e interpoladas en el campo magnético terrestre que rodean a nuestro planeta a una altura, respectivamente, de 3.000 y de 22.000 km, por encima del Ecuador. Fueron descubiertos en 1958 por el físico americano James van Allen, que era responsable de un experimento confiado al primer satélite artificial americano "Explorer 1". En lo que respecta al origen de las partículas de los cinturones de van Allen, debe buscarse en los flujos de electrones y de protones que nos llegan desde el Sol bajo la forma de viento solar. Los cinturones son evitados por las misiones espaciales tripuladas, porque su radiación puede dañar el organismo humano.

Vanguard. Nombre de un desafortunado proyecto americano para la construcción de un misil y un satélite para ser puesto en órbita terrestre. Confiado a la marina militar en 1955, antes de la constitución de la NASA, el proyecto Vanguard fue superado, en octubre de 1957, por el lanzamiento del primer Sputnik soviético. Un intento de recuperación, efectuado el 6 de diciembre de 1957, fracasó y el primer satélite americano fue el Explorer 1. El proyecto Vanguard se desarrolló durante dos años entre éxitos y fracasos (el 17 de marzo de 1958 entró en órbita finalmente el Vanguard 1, segundo satélite artificial americano) y después fue abandonado.

Variables (estrellas). Muchas estrellas se caracterizan por una luminosidad constante en el tiempo, por lo menos durante periodos del orden de los miles o millones de años. Nuestro Sol, por ejemplo, forma parte de este tipo de estrellas bastante estables. Otras estrellas, en cambio, presentan una variación de luminosidad que puede ser regular o irregular y que se desarrolla en periodos de tiempo bastante breves: a estas últimas los astrónomos les dan el nombre de variables. Las variables pueden reagruparse en tres familias principales que enumeramos a continuación. 1) Variables de eclipse. Se trata de variables impropias. En efecto, la fluctuación de su luminosidad no se debe a causas intrínsecas, sino al hecho que ellas forman parte de un sistema binario (o múltiple) en el que una componente es periódicamente eclipsada, o mejor ocultada, por la otra. El ejemplo más famoso de este tipo de variables lo constituye Algol, en la constelación de Perseo. 2) Variables pulsantes. Se trata de estrellas que se dilatan y se contraen, de manera regular o irregular, casi como un músculo cardíaco y que, en el

curso de este fenómeno, experimentan variaciones apreciables de dimensiones y de temperatura superficial. A esta clase de estrellas variables pertenecen las Cefeidas. 3) Variables eruptivas. Son estrellas cuyas superficies están convulsionadas por fenómenos como erupciones o explosiones, asociadas a potentes variaciones del flujo de energía dispuesto. A esta familia pertenecen las llamadas estrellas de Flare, cuyos pr

Vela Solar. Es un tipo de propulsión espacial que se basa en el aprovechamiento de la presión de la radiación del Sol. Los fotones emitidos por nuestra estrella (como los de cualquier otra), tienen la propiedad de ceder su cantidad de movimiento a un objeto que se encuentra a lo largo de su camino. Obviamente se trata de cantidades mínimas de energía y, en efecto, un proyecto de sonda espacial para la exploración del cometa Halley, jamás llevado a cabo, preveía la construcción de una amplia vela de 640.000 m² para obtener de los fotones solares un empuje de apenas 600 gramos. Aun en plazos del orden de meses o años, de acuerdo con los casos, este empuje podría acelerar un vehículo espacial hasta velocidades de decenas de km/s necesarias para hacerles alcanzar los planetas de nuestro sistema solar. Lejos de ser considerado como un proyecto irrealizable o futurible, la vela solar está actualmente en estudio en los laboratorios espaciales de la NASA y se considera que las primeras aplicaciones se concretarán en los años noventa.

Venera. Serie de sondas espaciales soviéticas también llamadas "Venus" y destinadas a la exploración del planeta Venus. Venera 1 fue la primera sonda interplanetaria lanzada por el hombre el 12 de febrero de 1961, y pasó a 100.000 km del planeta Venus, pero perdió contacto por radio con la Tierra. También la Venera 2 siguió la misma suerte, mientras la Venera 3, aun descendiendo en Venus el 1 de marzo de 1967, no logró transmitir ningún dato. El primer éxito de la serie fue obtenido por la Venera 4, que el 18 de octubre de 1967 envió una cápsula al planeta de las nubes, la cual transmitió preciosos datos durante 94 minutos mientras descendía. Las otras numerosas sondas de la serie han desarrollado misiones explorativas con notable éxito, transmitiendo fotografías y datos sobre el hostil ambiente venusiano.

Ventana de lanzamiento. Es un intervalo de tiempo dentro del cual debe lanzarse un cohete con el fin de alcanzar el objetivo prefijado. El momento óptimo para el lanzamiento de un misil que, por ejemplo, tiene la función de colocar una astronave en trayectoria lunar, es elegido con relación a las posiciones astronómicas de la Tierra y de la Luna. Sin embargo, existe un intervalo de tiempo, antes y después de este momento óptimo, dentro del cual el lanzamiento para alcanzar el objetivo Luna es siempre posible. Si por causa de retrasos o de averías, se va más allá de la ventana de lanzamiento, la misión ya no es posible y hay que esperar una sucesiva posición favorable. Para dar un ejemplo histórico, la ventana de lanzamiento de la misión lunar Apolo 11, que llevó a los primeros hombres a la Luna, permaneció

abierta desde el 15 al 22 de julio de 1969. El lanzamiento tuvo lugar el 16 de julio, pero si por casualidad no hubiera sido posible efectuarlo dentro de la ventana de lanzamiento, se debería haber esperado hasta el periodo comprendido entre el 13 y el 21 de agosto. También para el lanzamiento hacia los planetas existen problemas de ventanas, sin embargo estas son un poco más amplias con respecto a las necesarias para un vuelo a la Luna. La ventana de lanzamiento está impuesta por la actual metodología de vuelo interplanetario. Como es sabido, una astronave o una sonda dirigida hacia un cuerpo próximo a la Tierra se desplaza durante la mayor parte de su viaje con un movimiento inercial, aprovechando el campo gravitacional de los cuerpos del sistema solar. El empuje propulsor es proporcionado sólo al comienzo para colocar a la astronave a lo largo de su trayectoria, o por breves momentos durante su viaje para corregir ésta. El resto de la travesía se realiza con los motores apagados. Cuando se pase de la era de los combustibles químicos a la del motor iónico con empuje continuo, o a la vela solar que aprovecha la presión de radiaciones de la luz, los viajes planetarios ya no dependerán tan estrechamente de las posiciones astronómicas favorables y el lanzamiento podrá realizarse en cualquier momento del año.

Venus. El planeta Venus, el segundo que se encuentra a partir del Sol, es el más próximo a la Tierra; se presenta similar a nuestro planeta tanto por dimensiones como por peso y densidad. Pero a pesar de su proximidad a nosotros, no es posible observar su superficie, debido a que un espeso e impenetrable sistema de nubes lo envuelve constantemente. Por este motivo, hasta que las sondas interplanetarias no estuvieron en condiciones de penetrar su estrato nuboso y descender en su superficie, el planeta ha sido objeto de hipótesis que en su mayoría se revelaron equivocadas. Venus es el objeto más luminoso del cielo, después del Sol y de la Luna: en las condiciones más favorables alcanza la magnitud de $-4,3^m$ y puede ser visto a pleno día. Por ser un planeta interior a la órbita de la Tierra, Venus aparece en el cielo en las proximidades del Sol, con respecto al cual se aleja al máximo (en la época de las Elongaciones) en unos 47° . Es visible tanto por la mañana, antes de la salida del Sol, como por la noche, inmediatamente después del ocaso. Los antiguos no habían comprendido que se trataba del mismo cuerpo celeste en dos posiciones diferentes y llamaban al primero Fósforo y al segundo Véspero. Observado con un modesto telescopio Venus muestra fases, como la Luna. El primero en darse cuenta de este fenómeno fue GALILEO inmediatamente después de la construcción de su telescopio. En ocasiones relativamente raras, Venus efectúa Tránsitos sobre el disco solar: los últimos se produjeron en 1874 y en 1882; los próximos tendrán lugar respectivamente el día 7 de junio del año 2004 y el día 5 de junio del año 2012. Características físicas. Venus tiene un diámetro de 12.100 km, un poco más pequeño que el terrestre, su masa es de $4,87 \cdot 10^{24}$ kg, es decir 0,8 a 1 con respecto a nuestro planeta, y la densidad media de $5,25 \text{ g/cm}^3$, apenas inferior a la terrestre que es de 5,52. El planeta gira alrededor del Sol en una órbita casi circular ($e = 0,0068$) a una distancia media de 108.210.000 km, empleando 224,7 días para realizar un giro completo. La órbita está inclinada en $3^\circ 24'$ con respecto a la eclíptica (plano de la órbita terrestre). El día venusiano es extremadamente largo: para realizar una rotación alrededor de su propio eje, el planeta emplea 243,1 días y el sentido de esta rotación es retrógrado (Venus y Urano son los únicos dos planetas del sistema solar que tienen un movimiento de rotación alrededor de su propio eje retrógrado u horario). Como su superficie es invisible, el

movimiento de rotación venusiano ha sido determinado en los años 60 gracias al envío de señales de radar desde tierra. **Atmósfera.** La característica más interesante del planeta Venus es indudablemente su espesa atmósfera, que lo envuelve siempre, impidiendo a los telescopios terrestres, y también a los objetivos de las sondas automáticas colocadas en una órbita venusiana, ver algo de su superficie. Vista con un potente telescopio, la atmósfera de Venus tiene la apariencia de una extensión homogénea de color blanco-amarillo y sólo ocasionalmente muestra manchas más oscuras o rayas en las zonas ecuatoriales, sobre todo si es observada con luz violeta y ultravioleta. Se trata, como ha sido sucesivamente confirmado por los datos proporcionados por el Mariner 10 en 1974, de formaciones nubosas en movimiento desde el ecuador hacia los polos. Los primeros observadores pensaban que este impenetrable sistema de nubes estaba esencialmente constituido por vapor acuoso; los análisis de las sondas espaciales han demostrado, en cambio, que se trata de gotas de ácidos sulfúricos mezcladas con ácido clorhídrico y fluorhídrico. Un compuesto sumamente tóxico y corrosivo, responsable del fracaso de las primeras misiones automáticas que descendieron en el planeta (las sondas Venera). El principal sistema de nubes se desarrolla entre los 50 y los 65 km de altura, lo que ha parecido extraño para un mundo considerado gemelo con el de la Tierra (recordemos que en nuestro planeta, los sistemas nubosos más altos, se hallan entre los confines de la troposfera: por debajo de los 13 km de altura). A niveles más elevados la atmósfera se presenta muy turbulenta, perturbada por movimientos vertiginosos y corrientes en chorro que soplan a algunos centenares de km/h. En cambio, a alturas inferiores las turbulencias se aplacan y a nivel del suelo existe la calma y el aire es límpido, hasta el punto que las sondas soviéticas que han logrado llegar hasta él indemnes, han revelado un paisaje tranquilo. La composición de la atmósfera venusiana está compuesta en un 90 % de dióxido de carbono y el resto de hidrógeno, oxígeno, helio, monóxido de carbono, agua y compuestos ácidos que ya se han mencionado. Esta atmósfera ha desempeñado un papel fundamental en la determinación de la meteorología del planeta, porque su principal componente, el dióxido de carbono, es el responsable del llamado efecto sierra; deja pasar los rayos solares que calientan la superficie del planeta, pero detiene la radiación térmica, impidiendo el enfriamiento del planeta por la irradiación del calor en el espacio: ello determina, en la superficie de Venus, temperaturas tórridas de 475 tanto en el ecuador como en los polos. La distribución de las temperaturas con respecto a la altura muestra un rápido aumento a medida que se desciende hacia la superficie: se va de temperaturas del orden de 10 C en la capa más alta de las nubes (60 km), a los 200 grados registrados bajo esta capa nubosa, a unos 30 km de altura, para terminar con las temperaturas de fusión del plomo en la superficie. La superficie. Las primeras imágenes de la superficie de Venus, después de muchos intentos fallidos, llegaron a la Tierra en octubre de 1975, cuando las naves espaciales soviéticas Venera números 9 y 10 descendieron en el planeta y efectuaron una serie de fotografías panorámicas. Fue notable la sorpresa de astrónomos y planetólogos al ver un paisaje seco y limpio, caracterizado por terrenos planos con promontorios grandes y pequeños esparcidos aquí y allí. Nadie, bajo aquel infierno de nubes, imaginaba algo similar. En los años precedentes algunos estudiosos habían descrito un paisaje venusiano similar al de la Tierra en el periodo carbonífero, y por lo tanto húmedo, con enormes helechos y animales semejantes a los grandes dinosaurios. Sin embargo, también en este caso las expectativas

más fantásticas se desvanecieron. Una contribución muy importante para la comprensión de la superficie del planeta ha venido de la sonda americana Pioneer-Venus que, a partir de diciembre de 1978, se ha situado en órbita alrededor del planeta y, además de fotografiar los sistemas nubosos desde su proximidad, ha efectuado un análisis a través del radar de su superficie, proporcionando los datos necesarios para el trazado de un mapa casi completo del planeta. Los resultados de estas primeras exploraciones permiten subdividir las tierras del planeta en tres categorías: planicies (alrededor del 20 %); planos intermedios (casi el 70 %); altiplanos (un 10 %). Los altiplanos se elevan varios km sobre el nivel medio del planeta y presentan imponentes estructuras montañosas. El altiplano más extenso, llamado Aphrodite Tierra, ocupa una extensión equivalente a una vez y media el continente africano y se encuentra a caballo del ecuador. En su zona centro-oriental presenta un imponente cañón de 1.400 km de largo, 150 km de ancho y una profundidad de 2 km, que parece haber sido provocado por una actividad tectónica de tipo estacionario. Otro altiplano importante es el llamado Ishtar Tierra, que se extiende a través de una superficie comparable a la del continente norteamericano y presenta al Este los relieves más altos de Venus: los Montes Maxwell, 12 km de altura. Las planicies ocupan por lo general áreas circulares, como la llamada Atlanta Planitia, al Este de Ishtar, o bien depresiones lineales como Sedna Planitia, al Sur de Ishtar. Existen también estructuras circulares que hacen pensar en cráteres cerrados por la erosión o por fenómenos tectónicos. El hecho que los planos intermedios, caracterizados por una sustancial nivelación de las alturas, ocupen la mayor superficie, ha hecho pensar a los geólogos que en Venus, al contrario de lo que sucede en nuestro planeta, no se ha producido una apreciable actividad tectónica. A pesar de ello, Venus debe considerarse un planeta geológicamente activo y no un mundo casi inerte como la Luna. Historia evolutiva. Todos los datos recogidos hasta ahora sobre nuestro vecino y compañero más interior, hacen pensar en que la Tierra y Venus iniciaron su evolución de manera casi similar, creciendo por la unión de fragmentos protoplanetarios, desarrollando un altísimo calor interior debido a la radioactividad y recubriéndose por una densa atmósfera a base de dióxido de carbono generado por la actividad endógena. Sin embargo, el hecho de que Venus esté un 30 % más cerca del Sol que nosotros, fue determinante para el sucesivo desarrollo de este planeta. En efecto, las temperaturas más altas habrían impedido que el agua condensara y formara las vastas extensiones oceánicas que caracterizan la Tierra. Las aguas del mar han tenido un papel fundamental en nuestro planeta, habiendo absorbido el dióxido de carbono presente en la atmósfera primordial y consiguiendo la formación de rocas carbónicas. En Venus, en cambio, el dióxido de carbono ha permanecido como el componente fundamental y ha transformado al planeta en una sierra tórrida y hostil a la vida. En lo que concierne al interior del planeta, este no debería ser muy diferente al de la Tierra.

Vía Láctea. Según la mitología clásica, Hércules, aún en pañales pero ya con bastante fuerza, apretó hasta tal punto el seno de su nodriza Gionone, que un chorro de leche llegó hasta el cielo y allí se quedó para formar esa tenue y larga nebulosidad que podemos observar claramente en las noches serenas y sin Luna: la Vía Láctea. Hoy sabemos que esta enorme franja blanquecina, que corta en dos a la esfera celeste, tiene orígenes indudablemente más prosaicos que los narrados por la antigua leyenda, pero no por ello menos fascinantes. En efecto, no es otra cosa que la proyección,

sobre la esfera celeste, del enorme sistema de estrellas del cual nosotros mismos formamos parte. De hecho, si dirigimos un telescopio hacia aquella nebulosidad, vemos que está constituida por una miríada de estrellas. La Vía Láctea o Galaxia, del griego galactos (leche), está formada por 100 mil millones de estrellas, tiene forma de girándula, una longitud de 100.000 AL y un grosor central de casi 16.000 AL. En ella pueden distinguirse un núcleo, un disco plano ecuatorial y un halo esférico. Examinemos estas partes separadamente. El halo. Es una envoltura esférica, que encierra a toda la Galaxia, formada por estrellas y Cúmulos globulares, todos de vieja edad con respecto a nuestro Sol. Se trata de estrellas que condensaron por primera vez -hace unos diez mil millones de años- en la periferia de la nube de gases y polvos a partir de la cual se formó la Galaxia entera. Estos cuerpos celestes, en lo relativo a su evolución, son también llamados Poblaciones II. En el halo casi no se encuentran ni gases ni polvos, debido a que estos se unieron, desde ya hace mucho tiempo, para formar las estrellas. El disco. La mayor parte de las estrellas y de los otros materiales (gases y polvos) de nuestra Galaxia, está concentrada de tal manera que constituye una estructura plana de forma discoidal, dispuesta normalmente al eje de rotación de la propia Galaxia. Sobre esta estructura yacen también los dos brazos en espiral de nuestra Galaxia, formados por una concentración especial de estrellas y gases. Las estrellas que forman estas estructuras son todas bastantes jóvenes y pertenecen a la llamada Población I. Incluso algunas se hallan todavía en fase de nacimiento, es decir de condensación a partir de los gases y de los polvos interestelares. Los gases están formados predominantemente por hidrógeno y los polvos por minúsculos granos de silicatos y de grafito recubiertos por una fina capa de hielo. El Sol, que es una estrella de mediana edad (alrededor de cinco mil millones de años), se encuentra en uno de los dos brazos en espiral, el de Orión, a 36.000 AL del centro de la Galaxia: aproximadamente a dos tercios de distancia entre el centro y la periferia. Nuestra estrella, con el séquito de los planetas, gira alrededor del centro galáctico a la velocidad de 230 km/s, empleando unos 200 millones de años para dar una vuelta completa. Se calcula que cuando el Sol nació, sólo había realizado una veintena de revoluciones alrededor del centro galáctico. El núcleo. Contiene la mayor parte de la masa constitutiva de nuestra Galaxia, en gran parte bajo forma de estrellas más viejas que las del disco, pero más jóvenes que las del halo. No puede observarse directamente porque está oscurecido por nubes de polvo; sin embargo, medidas realizadas al infrarrojo y en ondas de radio han permitido definir su estructura. Sus dimensiones son de aproximadamente 20.000 x 10.000 AL. En el centro se ha localizado una nube compacta de hidrógeno caliente ionizado, con un diámetro de unos 200 UA: probablemente se trata de un objeto supermacizo, 10.000 veces más macizo que el Sol, tal vez un Agujero negro. Nuestra Galaxia, como todos los otros cuerpos celestes del Universo, está animada por un movimiento rotativo que se realiza de manera diferencial: sus partes más internas giran más rápidamente que las exteriores.

Vida (origen de la). El problema del origen de la vida en el Universo ha sido abordado por muchos científicos y filósofos de todas las épocas con resultados, obviamente, diversos. Las teorías formuladas a este propósito pueden reagruparse en tres corrientes principales: 1) la vida se originó en nuestro planeta a causa de un acontecimiento sobrenatural, más allá de las posibilidades descritas por la ciencia: esta posición se denomina creacionismo; 2) la vida y la materia

del Universo no son el resultado de una creación divina, sino que son coeternas: es decir que siempre han existido y siempre existirán; 3) la vida se originó en nuestro planeta, después de su formación, a causa de una compleja serie de reacciones químicas que condujeron al nacimiento de las primeras células con facultades autorreproductivas y, sucesivamente, a un creciente aumento de la complejidad de los organismos vivos, en virtud de mecanismos de selección y evolución de las especies. Son estas las teorías llamadas del caldo primordial, y del evolucionismo. La ciencia aún no ha podido aportar pruebas definitivas en favor de ninguna de estas teorías. Sin embargo, resulta notable que alrededor de los años 1950, los químicos, simulando las condiciones ambientales de la Tierra primordial, hayan podido obtener elementos prebióticos a partir de materia inorgánica. Por otra parte hoy parece también importante que en el espacio interplanetario se encuentren en las condiciones ambientales más diversas -nubes interestelares, meteoritos, cometas, etc.-, los elementos fundamentales de la célula.

Viento Solar. Se trata de un flujo continuo de partículas cargadas, emitido por el Sol, en todas direcciones. Está compuesto en particular de protones núcleos de hidrógeno, electrones y, en menor porcentaje, por partículas α (núcleos de helio). El viento solar puede considerarse como la parte más exterior de la corona, que es expulsada violentamente hacia el espacio interplanetario por los procesos energéticos en actividad en las regiones subyacentes del Sol. Las partículas alcanzan velocidades comprendidas entre los 350 y los 800 km/s; en la proximidad de la órbita terrestre, tiene una densidad de 5 unidades/cm³. Los efectos del viento solar sobre el ambiente que rodea a la Tierra son notables. Entrando en contacto con el campo magnético terrestre, las partículas permanecen interpoladas en las líneas del propio campo y dan lugar a los cinturones de Van Allen. Por otra parte, chocando con los estratos más exteriores de la atmósfera, generan fenómenos como las Auroras boreales y las tempestades magnéticas, que tanto influyen en las comunicaciones de radio. La intensidad del viento solar es modulada tanto por el periodo de rotación del Sol (27 días) como por el ciclo de once años de la actividad solar. La existencia del viento solar fue deducida en los años 1950 por el astrofísico americano Eugene Parker, observando el comportamiento de las colas de los Cometas, que, violando las reglas de la atracción gravitacional, se dirigen en dirección opuesta al Sol.

Viking. Nombre de dos sondas espaciales interplanetarias construidas por la NASA, que llegaron al planeta Marte en 1976, con la doble finalidad de efectuar determinaciones de su órbita y llevar a cabo análisis de su superficie, en búsqueda de eventuales formas de vida elemental. Las dos sondas gemelas fueron lanzadas en el verano de 1975, la Viking 1, el 20 de agosto y la Viking 2, el 9 de septiembre. Cada una estaba compuesta de un orbiter y de un lander. Los "orbiters" debían limitarse a entrar en órbita alrededor del planeta y a estudiar su geología y meteorología; los landers debían descender sobre la superficie y realizar análisis de tipo biológico. La Viking 1 llegó a las proximidades de Marte el 9 de junio de 1976 y su lander tocó la superficie del planeta el 20 de julio siguiente, en una planicie llamada Chryse Planitia; la Viking 2 alcanzó su objetivo el 7 de agosto de 1976 y su lander descendió el 3 de septiembre sucesivo en la región de Utopía Planitia. Si bien el problema de la vida elemental en Marte permanece sin resolver, en el sentido de no haberse logrado ni confirmaciones ni desmentidos, los dos Viking han proporcionado una masa

de datos fundamentales para el conocimiento de cerca del planeta. Los dos landers han transmitido más de 4.500 fotografías de la superficie marciana y más de 3 millones de informes meteorológicos; los dos orbiters han transmitido alrededor de 52.000 imágenes, permitiendo trazar mapas detallados (hasta una resolución de 300 metros) del 97 % de la superficie de Marte.

VON BRAUN, Werner. 1912-1977 Pionero de la misilística conocida también como el padre del supermisil americano Saturno V, gracias al cual los primeros hombres pusieron pie en la Luna. Afiliado desde muy joven a la Sociedad Alemana para el vuelo espacial, tuvo la posibilidad de trabajar junto a uno de los padres de la astronáutica de la categoría de Hermann OBERTH. Después de haberse licenciado en ingeniería, con una tesis sobre el motor a chorro, VON BRAUN, hacia mediados de los años 1930, fue asignado a los laboratorios de investigación del ejército alemán, donde comenzó a desarrollar los experimentos sobre misiles para uso bélico. En 1937 el centro de misiles alemán se trasladó de Kummersdorf, cerca de Berlín, a Peenemünde, sobre la costa báltica. Aquí VON BRAUN pudo realizar el famoso proyecto V-2, que se considera como el primer misil de largo alcance del mundo. La primera V-2 voló el 3 de octubre de 1942, en pleno conflicto mundial, alcanzando una altura de 85 km; poco después miles de estos cohetes se emplearon para bombardear Londres. A pesar de la contribución que hizo a su país en el periodo de guerra, VON BRAUN fue perseguido por la Gestapo, que le acusó de dedicar demasiado tiempo al desarrollo de proyectos futurísticos más que a los militares (hay que señalar que fueron secuestrados los planos de un misil de tres secciones que tenía como objetivo colocar al hombre en órbita alrededor de la Tierra). Al finalizar el conflicto, VON BRAUN y otros colegas suyos se rindieron a las tropas americanas con la promesa de continuar desarrollando los estudios misilísticos en el polígono de White Sands, en Nuevo México. Algunos años más tarde, en 1950, el científico pasó al arsenal de Huntsville, Alabama, donde realizó el versátil misil Redstone que después fue empleado para el lanzamiento de los primeros satélites y astronautas americanos y su puesta en órbita. En 1960, después de la fundación de la NASA, VON BRAUN se convirtió en uno de los puntos claves del Marshall Space Flight Center de Huntsville, donde fueron diseñados y realizados los grandes misiles, el último de los cuales fue el Saturno. Después de la gran aventura lunar el científico, amargado por la cancelación de muchos programas espaciales, como por ejemplo la conquista humana de Marte, se retiró de la NASA para entrar en la industria privada. Sin embargo no sobrevivió mucho tiempo después de esta decisión, ya que murió a la edad de 65 años, en 1977.

Vostok. Primera astronave soviética con la cual Juri GAGARIN y una serie de cosmonautas después de él llevaron a cabo, a comienzos de los años 1960, los primeros vuelos espaciales en órbita terrestre. La Vostok estaba constituida por una esfera de 2,3 m de diámetro y un peso de 2.400 kg, en el interior de la cual había lugar para un cosmonauta, y por una sección cilíndrica aproximadamente del mismo peso, conteniendo los aprovisionamientos y los servicios. En la parte exterior la esfera estaba recubierta por un escudo protector para resistir a las altas temperaturas producidas por el frotamiento, y por una superficie reflectora para evitar el sobrecalentamiento durante los periodos de exposición a los rayos solares. La cabina ofrecía una buena climatización como una atmósfera artificial similar a la que

respiramos en la Tierra a nivel del mar. La sección cilíndrica, que actuaba también de acople con la parte superior del misil destinado a poner en órbita la Vostok 1 contenía los retrocohetes para frenar la carrera de la nave en la fase de retorno, los depósitos de propelente y los de gas necesarios para producir la atmósfera artificial. En la fase de retorno a la Tierra el cosmonauta no permanecía en el interior de la cápsula sino que era expulsado con todo su asiento y descendía con paracaídas. La astronave Vostok modificada en su parte interior, dio paso a la Voskhod, que transportó hasta tres cosmonautas.

Voyager. Nombre de dos sondas automáticas interplanetarias gemelas realizadas por la NASA, que entre finales de los años 1970 y el transcurso de los años 1980 han revolucionado nuestros conocimientos sobre los cuerpos del sistema solar exterior, enviando millones de datos e imágenes sobre los planetas y sus satélites del tipo jupiteriano (sobre la distinción entre planetas terrestres y planetas jupiterianos, → *Sistema solar*). Derivadas de una evolución de las sondas Mariner y Viking, las naves Voyager están constituidas esencialmente por un prisma de base decagonal, en el que se encuentra toda la electrónica de a bordo y de la cual parten diversas estructuras: el armazón que sostiene la gran antena paraboloide de 3,7 m de diámetro; apéndices extensibles con sensores e instrumentación diversa; y otras antenas de columnas para el estudio de radioastronomía planetaria. El peso de toda la nave es de casi 800 kg. En el momento de su puesta en órbita, en la sonda está incluido también un módulo de propulsión, que sirve para darle el empuje hacia los lejanos planetas y que, después de su uso, es definitivamente abandonado en el espacio. Las «Voyager» han tenido la finalidad, hasta ahora, no sólo de transmitirnos las bellísimas imágenes de Júpiter, de Saturno y de sus respectivos satélites, sino también de indagar sobre la naturaleza física y química de estos cuerpos. Para estos fines, llevan montadas a bordo dos telecámaras provistas de ocho filtros y una infinidad de sensores que proporcionan datos sobre las emisiones de los cuerpos celestes en el infrarrojo, en el ultravioleta, y en la región de las ondas de radio del espectro electromagnético. Otros sensores se ocupan de estudiar la luz solar reflejada por las superficies planetarias, de medir el campo magnético y las partículas cargadas presentes. Los Voyager, al contrario de las sondas que se aventuran en el sistema solar interior, no están dotadas de paneles solares porque, a gran distancia de nuestro astro, serían necesarias enormes superficies para captar la luz indispensable para convertirla en una satisfactoria cantidad de energía. En cambio, sobre los Voyager se ha montado un generador de energía a radioisótopos, que convierte en electricidad el calor generado por el decaimiento radioactivo de una pastilla de óxido de plutonio. Enviadas en septiembre y agosto de 1977, las dos Voyager han alcanzado Júpiter, respectivamente en marzo y julio de 1979; Saturno en noviembre de 1980 y agosto de 1981. Mientras el Voyager 1 continuará la exploración del espacio interplanetario, perdiéndose en el infinito como ya lo han hecho los Pioneer número 10 y 11, el Voyager 2, antes de compartir este destino, tendrá que realizar una exploración de cerca de Urano en enero de 1986 y de Neptuno en septiembre de 1989.

W

WOLF, Rudolf. 1816-1893 Astrónomo suizo quien descubrió, independientemente de Heinrich SCHWABW, el ciclo de la actividad solar en base a la observación de las manchas y determinó con exactitud su duración de once años. En particular WOLF demostró que el ciclo de las manchas solares está relacionado con las Auroras polares y con las llamadas tempestades magnéticas; de este modo dio comienzo a los estudios de las interacciones entre el Sol y la Tierra.

Woomera. Nombre de un polígono espacial australiano fundado en 1947 en base a un acuerdo entre Australia y Gran Bretaña, con la intención de efectuar lanzamientos de pequeños misiles y de cohetes sonda. Más tarde el polígono fue utilizado en el ámbito del proyecto espacial europeo ELDO para el desarrollo de un misil comunitario, pero todas las pruebas tuvieron resultados desastrosos y el proyecto fue cancelado. En la actualidad Woomera continúa siendo empleado como base de lanzamiento para satélites científicos y tecnológicos de las dos naciones que lo han creado.

X

X, rayos (astronomía). Es el estudio del Universo observado a través de esas radiaciones particulares del espectro electromagnético con una longitud de onda extremadamente corta -entre 0,1 y 300 Ångstrom- conocidas como rayos X. Esta técnica de investigación tuvo sus comienzos en 1962, con el envío de cohetes sonda al espacio con la finalidad de captar los eventuales rayos X producidos por el impacto de la radiación solar con la superficie de la Luna. Grande fue el asombro de los astrónomos cuando vieron que la radiación buscada no aparecía, pero en cambio se había localizado una potente fuente de rayos X en la constelación del Escorpión, que luego fue bautizada Scorpius X-1: fue la primera de todas en su tipo. Las investigaciones continuaron, a lo largo de todo el decenio de los 60, con otros experimentos confiados a globos y misiles sonda, gracias a los cuales fueron localizadas otras fuentes celestes de rayos X. Sin embargo el verdadero paso adelante en este joven sector de la investigación astronómica, fue dado gracias al advenimiento, a partir de los años 70, de los satélites a rayos X entre los cuales se hallaban el Uhuru, Ariel, Copérnico y HEAO. Estos y otros pequeños observadores astronómicos orbitales han permitido trazar el mapa del cielo a los rayos X, localizando centenares de astros, probablemente estrellas de neutrones, agujeros negros y otros tipos de objetos muy compactos que son sede de emisiones X. Además, también se ha descubierto una radiación X de fondo, descubierta en 1965, que sería el residuo de la explosión, en la cual tuvo su origen el Universo.

Y

Yerkes (observatorio). Es uno de los observatorios astronómicos más famosos del mundo, aunque no cuenta con un gran telescopio. Pertenece a la Universidad de Chicago y está situado en Williams Bay, Wisconsin (EE.UU.), a una altura de 334 m. Fundado por el gran astrónomo George Hellery Hale con una financiación provista por el hombre de negocios C. T. Yerkes, fue inaugurado en 1897 y dotado de un refractor de 102 cm, que sigue siendo hasta ahora el instrumento más grande existente de este tipo en todo el mundo. Sin embargo, en el siglo xx, como es sabido, la posibilidad de construir telescopios reflectores de algunos metros de diámetro ha superado los instrumentos como el de Yerkes. Hoy, junto al histórico refractor, se ha colocado un reflector de 104 cm de diámetro.

Z

Zodiaco. Es una franja de la esfera celeste, con una amplitud de aproximadamente 9° , a lo largo de la cual parecen moverse el Sol, la Luna y todos los otros planetas excepto Plutón. Esta sensación se debe a que todos los cuerpos del sistema solar, con la excepción de Plutón, giran en órbitas que resultan casi coplanares.

Zond. Serie de naves automáticas soviéticas con objetivos a veces misteriosos. Las Zond, en efecto, no han tenido una finalidad específica, como habitualmente sucede con una serie de satélites, sino que han representado sobre todo una serie de pruebas para la puesta a punto de futuras misiones espaciales.