

UNIVERSIDAD DE BARCELONA
DISCURSO INAUGURAL DEL AÑO ACADÉMICO 1961-62



CURIOSIDADES
MARAVILLAS Y ENIGMAS
DEL FIRMAMENTO

POR EL
Dr. D. MARIANO VELASCO DURÁNTEZ
CATEDRÁTICO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

BARCELONA
1961

~~U-3316~~

1NP

D-821/3/22

1NP

~~409
7
11~~

BIBLIOTECA DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA



0700320932

UNIVERSIDAD DE BARCELONA
DISCURSO INAUGURAL DEL AÑO ACADÉMICO 1961-62



CURIOSIDADES
MARAVILLAS Y ENIGMAS
DEL FIRMAMENTO

POR EL
Dr. D. MARIANO VELASCO DURÁNTEZ
CATEDRÁTICO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

BARCELONA

1961

R. 240.757 ↙



Depósito Legal: B. 12.909. - 1961

*Magnífico y Excmo. Señor Rector;
Excelentísimos e Ilustrísimos Señores;
Queridos compañeros y alumnos;
Señoras y Señores.*

CUANDO el entonces Decano de la Facultad de Ciencias, mi buen amigo Dr. Alcobé, me comunicó el acuerdo, honroso para mí, que se habían tomado en Junta de Facultad de encomendarme esta lección inaugural del curso académico, que por turno reglamentario correspondía este año a un Catedrático de la Facultad de Ciencias, sentí una mezcla de alegría y preocupación: alegría por el alto honor que para mí suponía representar a mi Facultad en este solemne acto, y preocupación por el temor que tenía de no estar a la altura que yo deseara, y a la que estuvieron los insignes maestros que me precedieron en este lugar, tanto los de otras Facultades como los de mi propia Facultad. Quisiera fueseis un poco benévolos conmigo y que sin olvidar las sabias lecciones de aquellos insignes y preclaros compañeros, al escuchar esta mía, más modesta, veáis en ella todo mi buen deseo de imitarlos, y si el de no alcanzar su altura científica, sí el de no desmerecer ante ellos y mantener el prestigio merecido de esta querida Universidad catalana y el de mi propia Facultad.

Pasada esta primera impresión comenzó en mí la noble preocupación para la elección del tema a tratar en este acto inaugural. Hoy, en el campo de la Física abundan los temas científicos de gran interés y actualidad, ya sean de tipo filosófico, social o científico, puro o técnico. Mas, siendo de la opinión de que esta lección debe ser dirigida fundamentalmente a los alumnos que por vez primera asis-

ten a la Universidad, lección que debe ser lo más atrayente posible a su juvenil imaginación, a la vez que asequible a sus conocimientos, he creído pudiera ser un asunto interesante para ellos el presentar ante sus ojos la estructura del Universo, en la que pudieran contemplar tanto la grandeza del Sumo Hacedor, tan bien reflejada en la obra de la Creación del Cosmos como la grandeza de la inteligencia del hombre al poder desentrañar algunas de las leyes que rigen la armonía del Universo, viendo su pequeñez al enfrentarse con muchos problemas, para él aún enigmáticos, que hasta hoy no han tenido solución satisfactoria, pero que es buscada con noble afán y con una tenacidad digna del alma sensible e inteligente que le acompaña. Maravillas y enigmas abundan por doquier en el mundo físico. Presentarlos todos ante vuestros ojos me sería imposible, por la cantidad y la variedad. Al tener que limitarme forzosamente a un grupo de ellos, he dudado entre elegir el campo del Microcosmos, caminando desde nuestras dimensiones humanas habituales, en dirección hacia el mundo de lo infinitamente pequeño, hasta llegar al núcleo atómico, frontera hoy de nuestros conocimientos de ese micro-mundo (mostrándoos de pasada toda la grandeza de él, sus maravillas y sus enigmas invisibles a nuestros ojos, mas no a nuestra inteligencia), o bien, dando más actualidad al viaje de exploración, salir de nuestro mundo terrestre en busca de los enigmas y maravillas del Macrocosmos, caminando hacia los astros que vemos con nuestros ojos y alejándonos hasta las regiones en las que pululan las nebulosas extragalácticas o universos-islas, como son también denominadas. A este mundo real, cuya contemplación ha constituido siempre para el hombre una gran tentación, hoy por hoy, éste no le ha visto frontera o límite definido, constituyendo para él uno de los más apasionantes problemas el saber si el Universo es finito en el espacio y en el tiempo, o si es ilimitado en ambas direcciones. Gran enigma físico y filosófico de actualidad «candente» sobre el cual se trabaja hoy activamente y al que dedican su atención preclaros astrofísicos de todo el mundo.

En esta duda me encontraba cuando asistí el 30 de abril a la recepción como académico de la Real Academia

de Farmacia de Barcelona del insigne Catedrático de la Facultad de Medicina, mi buen amigo Dr. García-Valdecasas. Su discurso de ingreso lo comenzó con las siguientes palabras: «Una de las más excelsas ocupaciones a que puede dedicarse la actividad humana es el conocimiento de la obra de Dios. Las maravillas del mundo que nos rodea, empezando por la de nuestra propia existencia y terminando, si es posible imaginar terminación, por la de los soles que pueblan el espacio, hasta los más alejados de las más alejadas galaxias, constituyen el apasionante espectáculo cuya grandeza nos sobrecoge y cuyos misteriosos detalles nos llenan de admiración». Decidí en aquel momento presentar ante vuestros ojos en este día y especialmente ante el de los jóvenes universitarios diversos aspectos del «apasionante espectáculo, cuya grandeza nos sobrecoge», de los «soles que pueblan el espacio», en un viaje imaginativo a través de él. Nada también más apropiado para su espíritu juvenil y más de actualidad que salir de la Tierra para viajar por «esos mundos de Dios».

El guía ideal para este viaje «celestial» hubiera sido para vosotros, el catedrático de Astronomía de esta Universidad, mi querido amigo Dr. Febrer; mas, por su edad, no le alcanzará este «turno inaugural», y por ello me he atrevido a tratar, aunque sea modestamente, este tema cósmico, íntimamente relacionado con la especialidad de la cátedra que desempeño como titular.

PREPARATIVOS DE VIAJE

A semejanza de lo que sucede con los «turistas» en los viajes terrestres, nosotros, turistas celestes, hemos de imitarlos haciendo nuestros preparativos de viaje, no de provisiones, sino eligiendo el vehículo que hemos de emplear, la unidad para medir las etapas y el itinerario a seguir.

VEHÍCULO. Dada la enormidad de la distancia que hemos de recorrer, necesitaremos un vehículo lo más veloz que podamos imaginar. Desde luego, los vehículos más veloces que conocemos son el pensamiento, con el cual podemos trasladarnos en un instante a cualquier sitio del cielo material y hasta espiritual, y la vista, con la cual podemos llegar en «un abrir y cerrar de ojos» a cualquier punto estelar del firmamento o trasladarnos en igual tiempo de un punto sideral a otro opuesto a él en la bóveda celeste. Mas, ambos vehículos tienen el gran inconveniente de que, por su misma rapidez, no podemos asemejarlos a nada material que pueda darnos sensación de distancia y que nos permita apreciar la lejanía de la meta elegida para final de nuestras etapas astronómicas. Hemos, pues, de elegir otro vehículo que, siendo velocísimo por la enorme distancia a la que se encuentran de nosotros los finales de las etapas elegidas en nuestro proyectado viaje, nos permita apreciar la duración de esas etapas y la distancia a la que hemos de alejarnos al profundizar más y más en los abismos insondables del mundo sideral. Los vehículos reales más veloces que conocemos son los modernos cohetes extra-terrestres y serían los más idóneos para elegirlos por nos-

otros para nuestro viaje, si no fuese que, no obstante ser velocísimos para nuestros usos terrestres, son extremadamente lentos para trasladarnos a donde queremos ir en nuestro viaje interestelar. El vehículo más apropiado a nuestra disposición y que, no obstante su enorme velocidad, nos resultará aún sumamente lento para la enorme distancia de las etapas que proyectamos recorrer, es el rayo luminoso u onda electromagnética, con la cual transmitimos nuestras conversaciones radiofónicas y nuestros programas de radio y televisión entre dos puntos terrestres. Imaginándonos montados sobre un rayo luminoso o a caballo sobre una cresta o valle de una onda hertziana podremos recorrer los espacios extraterrestres, prácticamente vacíos de materia, a la aparentemente enorme velocidad de ¡trescientos mil kilómetros por segundo (300.000 Km/s)!

UNIDAD. Para medir las distancias astronómicas suelen emplearse diversas unidades: para cortas distancias se emplea el radio terrestre, o sea una distancia igual a 6.500 Km (aprox); para distancias mayores, se utiliza la llamada *unidad astronómica* (U. A.), o radio medio de la órbita terrestre, o sea, la distancia media del Sol a la Tierra, que equivale, aproximadamente, a *ciento cincuenta millones de kilómetros* ($15 \cdot 10^7$ Km = $15 \cdot 10^{10}$ m = $15 \cdot 10^{12}$ cm). Una unidad usual, mucho mayor que las dos anteriores, es la llamada *parsec* (P. S.) (paralaje-segundo), o sea, *la distancia a un punto del espacio desde el cual se viera el radio de la órbita terrestre bajo un ángulo visual de un segundo de arco*. Un cálculo elemental nos da para el parsec el valor aproximado de 205.265 U. A., o bien *¡treinta billones de kilómetros!!* (1 P. S. $\simeq 2,1 \cdot 10^5$ U. A. $\simeq 30 \cdot 10^{12}$ Km = $3 \cdot 10^{18}$ cm), o sea *¡tres trillones de centímetros!!*. Aunque esta unidad nos parezca monstruosamente grande, acostumbrados como estamos a nuestras escalas terrestres, los astrónomos modernos manejan, usualmente, para expresar las distancias a objetos estelares observados con los modernos telescopios ópticos y radiotelescópicos, una unidad ¡un millón! de veces mayor, llamada *megaparsec*, equivalente a *¡treinta trillones de kilómetros!!*, o sea, *¡tres cuatrillones de centímetros!!*

Más familiar, entre los no profesionales, que la unidad anterior, es la llamada *año-luz* (A. L.), o sea, la distancia recorrida por la luz en un año a razón de trescientos mil kilómetros por segundo. Un simple cálculo nos hace ver que un día equivale a 86.400 segundos, y un año a (en números redondos por defecto) treinta millones de segundos; por lo tanto un *año-luz equivale*, aproximadamente, a ¡diez billones de kilómetros!, o sea, que un parsec es igual, aproximadamente, a tres años-luz ($1 \text{ P. S.} \simeq 3 \text{ A. L.}$) (más aproximadamente: $1 \text{ A. L.} = 9,5 \cdot 10^{12} \text{ Km} = 63.290 \text{ U. A.} = 0,31 \text{ P. S.}$). Que estas unidades no son exageradas para las medidas astronómicas usuales, no obstante parecemos colosalmente grandes a los habitantes de este minúsculo astro que es la Tierra, lo prueba el hecho de que del sinnúmero de estrellas que pueblan la bóveda celeste y que podemos distinguir a simple vista en una noche estrellada, la más próxima a nosotros, la llamada *próxima Centauri* (no visible desde nuestras latitudes), está a una distancia algo mayor de un parsec, o sea a unos cuatro años-luz. La más brillante del cielo, la llamada Sirio, dista de nosotros unos nueve años-luz (más aproximado: 8,7 A. L.). Con los modernos telescopios se ha logrado «penetrar» en el cielo hasta «profundidades» que se miden en ¡¡¡miles de millones de años-luz!!! (¡¡unos veinte mil trillones de kilómetros!!).

ITINERARIO. El proyecto de viaje que les preparo es el siguiente: salir de aquí hacia la Luna; de ésta ir al Sol; desde allí escudriñaremos ligeramente los astros que constituyen el sistema solar (planetas, satélites, asteroides, cometas y meteoritos), antes de saltar a la región de las estrellas en la que veremos la gran variedad de estos astros que pueblan *nuestra Galaxia*, la cual tiene forma lenticular, con un «diámetro» de unos cien mil años-luz y un «grueso» en el centro mayor de diez mil años-luz. Todas las estrellas visibles a simple vista, que son unas 5.000, y hasta con buenos anteojos, que son miles de millones, forman parte de nuestra Galaxia; nuestro Sol no es más que una modesta estrella en este océano estelar que es nuestra Galaxia y que dista del centro de ella unos treinta mil años-luz; el grueso

de la lenteja galáctica en esta región del Sol es de unos 2.500 A. L. De nuestra Galaxia iremos a otras galaxias, llamadas *nebulosas extragalácticas* o *mundos-islas*, distantes de nosotros algunas de ellas miles de millones de años-luz. Abundan por millares las hoy descubiertas y pululan por esa región enigmática de los confines del universo observable, o sea de los confines del mundo al alcance de nuestros medios de observación actuales y huyendo unas de otras a velocidades extrañamente grandes por su enormidad. Desde allí regresaremos con el pensamiento a este paraninfo para meditar, en la última parte de esta lección inaugural, sobre los enigmas de este inmenso universo, cuya estructura habremos visto o señalado en la parte anterior que vamos a comenzar.

MÉTODOS DE OBSERVACIÓN

Todo lo que hoy sabemos de los astros lo debemos a la información que de ellos nos trae la radiación electromagnética por ellos emitida, bien en forma de luz visible, bien en forma de radiación infrarroja, o bien en forma de ondas hertzianas de corta longitud de onda. Interrogando hábilmente a este mensajero astral ha podido el hombre deducir por la imagen óptica obtenida, bien examinándola directamente (anteojos y telescopios de observación), o bien fijándola sobre una placa fotográfica (ecuatorial fotográfica) la forma de los mismos y su distribución por el espacio, así como seguir con precisión su evolución y desplazamientos. El telescopio de Hale, el mayor del mundo, instalado en el observatorio de Monte Palomar de los Estados Unidos, tiene un espejo reflector con un diámetro de cinco metros; y el armazón de su puesta en estación pesa en total 530 toneladas; la cúpula del local que le aloja tiene una altura de 40 m, un diámetro de 41 m y un peso de 1.000 toneladas. Con él se puede alcanzar a sondear el espacio hasta una distancia o «profundidad» de unos *¡¡cuatro mil millones de años-luz!!*, habiéndose registrado con él galaxias a *¡mil cuatrocientos años-luz!*

La radiación que recibimos de los astros es una radiación compleja, formada por infinidad de radiaciones o luces simples. Analizando esta complejidad por medio del espectroscopio, el astrónomo puede obtener datos precisos sobre la composición del astro, su estado físico, su temperatura superficial, sus movimientos y hasta su distancia, así como deducir si el astro tiene luz propia (es una lumi-

naria natural), o sea es un astro «vivo», o bien su luz se debe a otro astro, siendo él sólo retransmisor o reflector de ella, o sea, es un astro «muerto».

Midiendo la intensidad de la radiación recibida del astro por métodos fotométricos, el astrónomo ha podido clasificar éstos, según una escala de magnitudes, pudiendo deducir, si se trata de un astro «vivo» (estrella), su distancia; y si se trata de un astro «muerto» (planeta o satélite) medir su *albedo* (relación entre la intensidad de luz radiada y recibida por unidad de área) y por él poder deducir la naturaleza física de su superficie o suelo reflector.

Para el examen de la radiación hertziana en la moderna Radioastronomía utiliza el astrónomo moderno una gran variedad de instrumentos, según la longitud de onda escogida, el astro a estudiar (Sol, estrella o radio-foco) y la naturaleza del estudio (interferometría, medida de la intensidad de la radiación, posición del foco emisor, etc.). El radiotelescopio mayor del mundo actualmente funcionando es el instalado en Jodrell Bank (Inglaterra); tiene un diámetro de 76 metros y un peso de la parte móvil de 500 toneladas. En los Estados Unidos están actualmente en construcción avanzada gigantescos radiotelescopios del mismo tipo (en *Sugar Grove*, Virginia), con un reflector parabólico de 152 metros y un poder de penetración de unos *¡¡¡cuarenta mil millones de años-luz!!!*, doble que el de Jodrell Bank.

Esta nueva ciencia de la Radioastronomía tiene su origen en el descubrimiento, casi casual, hecho hace unos treinta años por el ingeniero norteamericano Jansky, de las radiondas de origen extraterrestre, pero que hasta estos últimos años no ha sido apreciada su importancia y explotado su gran interés científico, gracias principalmente al astrónomo inglés Lowell, Profesor de Astronomía en la Universidad de Manchester y Director del Centro Experimental de Jodrell Bank.

Los principales radiofocos localizados hasta ahora son: en el sistema solar, el Sol y el planeta Júpiter; en nuestra Galaxia, los restos de las tres supernovas de las que tenemos noticia; en la región de la constelación de Casiopea una difusa y débil región luminosa que contiene filamentos ga-



seos con movimientos extremadamente violentos, y el halo que rodea tanto a nuestra Galaxia como a las otras galaxias. Se han localizado radiofocos intensos en ciertas regiones extragalácticas en las que tiene lugar un extraño y sorprendente fenómeno: el choque entre dos galaxias.

PRIMERA ETAPA: LA LUNA

Si con la imaginación salimos de la Tierra cabalgando sobre un rayo luminoso, en poco más de un segundo llegaremos a nuestro satélite, la Luna, cuya distancia media a la Tierra es de 380.000 Km. Los principales datos astronómicos (que conocemos con gran precisión) de nuestro satélite son los siguientes: masa=0,012; diámetro=0,27; gravedad en su superficie=0,16, tomando como unidad las de la Tierra. Densidad media=3,3 gm/cm³; velocidad de escape sobre su superficie=2,4 Km/s; período de rotación alrededor de la Tierra=27,3 días medios. A simple vista no se observan detalles precisos sobre el suelo lunar; mas con los modernos telescopios pueden distinguirse detalles hasta de 200 metros. Si, pues, en la Luna hubiera lagos, mares, costas, bosques, ciudades, etc., desde la Tierra se podrían distinguir perfectamente. Al no ser así, nos permite afirmar que los futuros «turistas lunares» no encontrarán nada de esto. Lo que sí encontrarán será un suelo muy accidentado: amplias planicies llamadas mares, escarpadas montañas que forman verdaderas «sierras», e innumerables anillos montañosos, que por su forma reciben el nombre de circos o cráteres, en número superior a 30.000, solamente en la superficie de la parte visible desde la Tierra, alguno de ellos, como el de Ptolomeo, con un diámetro superior a los 180 Km., y el de Clavius, con 230 Km.

Siendo la superficie lunar de curvatura mayor que la de la Tierra, por ser menor su radio, un observador en el centro de este cráter no podrá ver las «paredes» o bordes del mismo, no obstante tener alguna de ellas altura superior a los 5.000 metros. El nivel de la superficie que forma

el suelo inferior de los cráteres lunares es, en general, mucho más bajo que el nivel medio del suelo lunar, a diferencia de lo que sucede con los cráteres de los volcanes terrestres. Así, el circo Teófilo, de 100 Km. de diámetro, tiene una profundidad de 5.000 metros, que en el circo de Newton sobrepasa los 7.000 metros. Algunos cráteres presentan hacia su centro un montículo o «pitón» cónico o un grupo de pitones cuya altitud no sobrepasa la de los bordes del cráter.

El origen de estos cráteres constituye aún actualmente un enigma que está íntimamente ligado al del origen de la Luna misma. La hipótesis de que dichos cráteres fueron producidos por la salida al exterior (del magma pastoso primitivo lunar) de grandes burbujas gaseosas, estallando bruscamente a la salida, a semejanza de lo que sucede en los «volcanes de fango» terrestres (Hawai, Italia, etc.), da explicación lógica a la forma de los mismos, así como a la del hundimiento de su suelo interior, y es, a nuestro juicio, más verosímil que la que atribuye el origen de estos cráteres a la caída sobre el suelo lunar de gigantescos aerolitos, como el que produjo el famoso cráter meteorítico en Arizona (Estados Unidos) (raro en la Tierra), el cual tiene un diámetro de 1 Km, muy inferior al de los cráteres lunares. Esta hipótesis meteorítica es defendida por algunos prestigiosos astrónomos como Schatzman.

La visibilidad de estos detalles montañosos es muy neta, ya que no hay nubes, ni neblinas que la dificulten. Las sombras que proyectan los picos aislados montañosos están bien delimitadas, pudiéndose deducir de su longitud y de la inclinación de los rayos solares que las originan, la altura de los picos que las proyectan. Cuando la Luna pasa ante una estrella, la ocultación de ésta por la Luna es instantánea, deduciéndose de esta observación que la Luna carece de atmósfera apreciable, lo que justifica la inexistencia de lagos, mares y signos de cauces de ríos. Los primeros cosmonautas que pongan pie en la Luna se encontrarán maravillados en ese mundo impresionante, sin aire que amortigüe y difunda la luz, bien la de sus propios focos o la luz solar; las salidas y puestas de Sol serán bruscas, sin crepúsculo; al Sol se le verá brillar sobre un cielo

oscuro y el resto de los astros serán visibles en pleno día. No existirán sonidos, ni habrá viento que arrastre nubes de polvo que erosione las montañas. La temperatura, sin atmósfera que la modifique y atenúe sus variaciones, cambiará bruscamente, desde la de ebullición del agua durante el día lunar, a la de muchos grados bajo cero por la noche, próxima a la temperatura del aire líquido (-170°C). Durante los eclipses de Luna, la temperatura en su superficie varía, en el intervalo de una hora, de $+70^{\circ}\text{C}$ a -80°C , lo que permite deducir que el suelo lunar no está formado de rocas compactas, las cuales no podrían enfriarse tan rápidamente, y es de creer que esté formado por capas de materiales pulverulentos o de rocas pulverizadas. Sin atmósfera, los meteoritos en su caída sobre la superficie lunar no dejarán la estela luminosa que producen los que caen sobre la Tierra (estrellas fugaces). Probablemente esos meteoritos que caigan próximos al astronauta visitante serán los únicos objetos móviles que percibirá en ese mundo de silencio, ya que todo a su alrededor estará inmóvil y desolado: un suelo desértico, incomparablemente más desértico que los más estériles desiertos terrestres. Observará también negras sombras y superficies deslumbrantes por la luz solar; grandes planicies con fragmentos de rocas volcánicas o, posiblemente, con gruesas capas de polvo volcánico sobre las que se alzan dentadas y altas montañas, algunas de más de 8.000 metros, como la denominada Monte Leibnitz, próxima al borde visible del disco lunar, bien formando cadenas montañosas como la denominada Montes Apeninos, bien formando circos cerrados como el cráter de Tycho-Brahe.

Cuando un hombre «alunice» se encontrará entre horizontes más limitados a los que está habituado en la Tierra, debido a la mayor curvatura, como ya dijimos, de la superficie lunar por su menor radio; a 80 Km. no será visible una montaña de 2.000 metros. Por otra parte, en ciertas regiones (mares, planicies) hay muy pocas cumbres que puedan servir de referencia topográfica, y el campo magnético lunar es muy débil para poder usar brújula. Así, pues, para poderse orientar en las excursiones lunares habrá que auxiliarse de cartas lunares detalladas, trabaje éste en el

que se emplea, con gran prisa, en la actualidad a muchos hombres. El «aerograph» de San Luis (Missouri, Estados Unidos) ha emprendido este trabajo, empleando fotografías tomadas con el refractor de 60 cm del observatorio de Pic du Midi (Francia). El proyecto prevé un empleo de 100.000 clichés y un trabajo de 10 años, no obstante utilizar para los cálculos un calculador o «cerebro electrónico».

La Luna tiene un movimiento de rotación sobre sí misma y otro de traslación alrededor de la Tierra, tardando en ambos el mismo tiempo: unos 27 días (27 días, 7 horas, 43 min. y 11 seg.). Debido a este hecho singular, nosotros vemos siempre la misma cara de la Luna y la otra no la veremos jamás directamente. Como es sabido, esta cara oculta de la Luna ha sido fotografiada por vez primera y después «televisada» por el cohete Lunik III, lanzado por los rusos el 4 de octubre de 1959. Esta estación extraterrestre fue lanzada con una velocidad ligeramente inferior a la velocidad de la liberación terrestre, y en época de Luna nueva. El día 7 se encontraba detrás de la Luna y frente a su cara oculta, entonces iluminada por el Sol, tomando de ella una serie de fotos con tiempos de exposición y aberturas de diafragma diferentes. Estas fotos fueron reveladas automáticamente en la estación espacial y retransmitidas por televisión. Así pudieron recibirse en la Tierra las primeras imágenes de esa cara desconocida, con bastante detalle y tener de este modo una vista de conjunto de la cara lunar jamás vista por el hombre. Por el detalle de estas fotografías se deduce que el suelo de la cara oculta es semejante al de la visible, aunque menos accidentado.

No hay dificultad técnica para que una expedición humana llegue un día a la Luna; mucha mayor dificultad representa el resolver los problemas formidables que plantea la vida humana en su inhóspito suelo.

Aunque el movimiento aparente de la Luna es de Este a Oeste, o sea de Oriente a Poniente, su movimiento propio es de Oeste a Este; por ello la Luna se pone cada día más tarde respecto al Sol. Debido a este movimiento propio de la Luna, ésta cada mes completa su ciclo de fases cuyas modalidades y explicación de las mismas a todos nos son familiares. El plano de la órbita de la Luna no coincide con

el de la órbita de la Tierra alrededor del Sol, llamada eclíptica; la línea imaginaria en que ambos planos se cortan se llama *línea de los nodos*, y los puntos imaginarios en que esta línea corta a la bóveda celeste se llaman *nodos*. Solamente cuando tiene lugar una Luna nueva (Luna entre el Sol y la Tierra), estando la Luna en o muy próxima a un nodo, habrá eclipse de Sol. Asimismo, cuando una Luna llena (Tierra entre el Sol y la Luna) esté en o muy próxima a un nodo, tendrá lugar un eclipse de Luna.

SEGUNDA ETAPA: EL SOL

Partiendo de la Tierra o de la misma Luna, en nuestro vehículo luminoso, en poco más de ocho minutos llegaríamos al Sol. El Sol es una de tantas estrellas que pueblan el firmamento, muy semejante a muchas de ellas, sin características especiales destacadas y, por tanto, no sería digno de ser destacado de un modo especial por nosotros si no fuera por lo que todos sabéis: que es nuestro «astro rey», el que nos da luz y vida, el que cambia el tiempo meteorológico y regula nuestras cosechas; el que proporciona toda la energía necesaria para la vida orgánica de la Tierra y de un modo especial la vida material del hombre sobre ella. A excepción de la energía nuclear, el Sol es el origen de toda la energía disponible por el hombre moderno: el carbón, que fue asimilado por las plantas; el petróleo, fósil orgánico; los vientos en la atmósfera, y los saltos de agua, cuyo origen está principalmente en la evaporación del agua de los mares por el calor solar. Por esta razón fundamental, desde los albores de la Humanidad, el hombre le ha mirado con admiración, le ha observado atentamente y hasta le ha adorado como a un dios de primer orden, considerándose a sí mismo como «hijo del Sol». Por ello, podemos decirlo sin exageración, es el astro mejor estudiado, con mucho, de todo el Universo y del que más sabemos, si hacemos excepción, y sólo en algunos aspectos, de nuestra propia Tierra. En muchos observatorios astronómicos del mundo hay una sección dedicada al estudio del Sol, y en algunos de ellos es su única finalidad. En el Observatorio Astronómico de nuestra Facultad de Ciencias el estudio diario del Sol es la tarea principal de

su Director, Dr. Febrer y sus colaboradores. Su conocimiento es extremadamente importante para la Astrofísica, pues es la única estrella que se puede estudiar con detalle por su proximidad; la estrella siguiente más próxima está 275.000 veces más lejos. Del Sol nos interesa todo: su origen, su pasado, su presente y su futuro; y dentro del presente, su posición en el cielo, sus movimientos, su estructura, su constitución interna y externa, el origen de su energía e influencia de la misma sobre Tierra. A continuación señalaremos los rasgos más típicos de estos diversos aspectos.

POSICIÓN. Ya hemos dicho anteriormente que el Sol forma parte de la Galaxia — nuestra Galaxia —, o mundo de estrellas, de forma lenticular. La distribución de soles en ella indica la forma de su estructura interna que es la de una «nebulosa espiral» de varios brazos, todos ellos arrancando del borde de un núcleo o centro de la Galaxia. En uno de estos brazos o espiras se encuentra el Sol, a una distancia del centro de la Galaxia de 30.000 A. L. El conjunto de la Galaxia gira alrededor de dicho centro; pero no como un cuerpo sólido, sino como un torbellino; o sea que las partes más próximas al centro tienen una velocidad mayor (giran más de prisa) que otras más alejadas; dicha velocidad angular, a la distancia a la que está el Sol, es tal, que el período de rotación para el Sol es de 220 millones de años, y la velocidad lineal correspondiente es de 216 Km/s. Ésta será, pues, la velocidad con la que se desplaza en el espacio el Sol, arrastrando con él todo su cortejo planetario o sistema solar.

Además de este movimiento espacial del Sol por el giro de la Galaxia a que pertenece, tendrá el de arrastre que le corresponde por el desplazamiento de su Galaxia en el espacio. Del conjunto de los dos resulta un movimiento del Sol, en una dirección determinada o hacia un punto de la bóveda celeste, que en la actualidad está entre las constelaciones de Hércules y Lira, en las proximidades de la estrella Vega, o α de la Lira.

La regularidad de la marcha anual aparente del Sol por el cielo ha dado siempre la sensación de seguridad. Un

eclipse de Sol era signo, en la antigüedad, de mal agüero, precursor de guerras y otras calamidades. Por ello no es de extrañar que aquellos hombres observaran meticolosamente el fenómeno y lograran predecirlo, descubriendo los Caldeos, en el siglo VIII a. de C., que dicho fenómeno era periódico y que su período (el famoso *Saros*) era de 223 lunaciones, o sea unos 18 años (18 años, 11 días y 8 horas). En el siglo V a. de C., Anaxágora calculó, por vez primera, la distancia del Sol a la Tierra y afirmó que el Sol era una roca incandescente, tan grande como el Peloponeso, afirmación que le valió la cárcel. Aristarco, quien ya en el siglo III (a. de C.) admitió que la Tierra y los planetas se movían alrededor del Sol, llegó a la conclusión por sus cálculos, de que la distancia del Sol a la Tierra debía ser 19 veces mayor que la distancia a la Luna, y su tamaño tan grande como el de la Tierra. El gran Hiparco dedujo de sus observaciones que la distancia del Sol a la Tierra era de unos 7 millones de kilómetros y su diámetro 7 veces superior al de la Tierra. No es hasta 1662 que estos datos fueron determinados con bastante precisión por el célebre astrónomo italiano Cassini: 150 millones de Km para la distancia y 1.390.000 Km para el diámetro.

ESTRUCTURA

FOTOSFERA. El Sol es una gran esfera incandescente en estado especial de la materia, semejante, al menos en las capas más externas, al estado gaseoso, y en equilibrio radiativo, o sea, que radia hacia el exterior tanta energía como produce en su interior, por el mecanismo que más adelante veremos. La superficie visible del Sol, o bien, la superficie esférica que aparentemente limita el globo solar, es la llamada *fotosfera*, la cual presenta regiones más brillantes que el resto llamadas *fáculas*, separadas por intervalos menos brillantes, con otras de aspecto granular (*granulaciones* o «granos de arroz»); y otras más oscuras, a veces de gran extensión, llamadas *manchas solares*. La atmósfera que envuelve al Sol, a través de la cual observamos

la fotosfera, está más enrarecida que ésta y en ella se distinguen dos regiones: la más «profunda» o próxima a la fotosfera es la llamada *cromosfera*, de color algo rojizo, debido al hidrógeno incandescente y un espesor de varios millares de kilómetros; la región más superficial de esta atmósfera, mucho más enrarecida que la cromosfera, y rodeando a ésta es la llamada *corona solar*.

FÁCULAS. Las fáculas son masas gaseosas que proceden de capas más internas del Sol y, por tanto, a mayor temperatura, producidas por una especie de movimiento de convección existente en las capas superiores del Sol. Dichas fáculas no son permanentes y su superficie oscila entre 1.600 y 1.500 Km². Pero las dos características del Sol más llamativas son las manchas y las protuberancias solares.

MANCHAS. Las manchas solares ya fueron observadas por los antiguos astrónomos chinos. Algunas son tan grandes que pueden distinguirse a simple vista con auxilio de un simple cristal muy ahumado, que disminuirá la intensidad de la radiación directa, que es cegadora, nociva y muy peligrosa para la vista. El primero en observarlas con un antejo fue Galileo. De una observación continuada se deduce que se desplazan sobre la superficie del Sol de E. a O. y de ello se infiere que el Sol tiene un movimiento de rotación de E. a O., alrededor de un eje que corta a su superficie en dos puntos llamados *polos* y es normal a un plano diametral llamado *ecuador solar*. La trayectoria aparente de las manchas es, pues, paralela al ecuador. Las manchas pequeñas (unos pocos millares de Km²) son de corta duración, y desaparecen en pocos días; las grandes manchas, de diámetro superior, con mucho, a veces al de la Tierra, son más persistentes y tienen una duración de varios meses. La observación de estas grandes manchas ha permitido determinar el valor del período de rotación del Sol, y observar que es distinto del ecuador a los polos, lo que prueba que la materia en el Sol no está en estado sólido, hecho presumible dada la elevada temperatura. El período de rotación es menor en el ecuador que en los po-

los y su valor medio es para la región ecuatorial de unos 25 días y para la polar de 34. Una mancha se compone, generalmente, de una parte central más oscura (sombra) rodeada de otra (penumbra) más luminosa, aunque menos que la parte exterior. A veces la penumbra está rodeada de fáculas. Estos efectos de sombra y penumbra son efectos ópticos de contraste. La apariencia oscura de las manchas es debida a una temperatura más baja (unos 4.500°C) que la de la fotosfera que las rodea (unos 6.500°C). La luminosidad de las regiones de sombra es muy grande, pero menor que la de la penumbra, y ésta menor que la media de la superficie del disco solar.

Las manchas se presentan generalmente en grupos, de forma y tamaño variable. Un grupo extraordinario fue el observado en el año 1946, que duró 99 días y su mancha mayor, de forma elíptica, tenía el diámetro mayor de unos 150.000 Km y el menor de unos 100.000 Km. La superficie del grupo era de, aproximadamente, *¡un billón de hectáreas!*, superficie colosal comparada con la de la Tierra, pero solamente unas 5 milésimas de la superficie del hemisferio visible del Sol. Un grupo aún mayor, el mayor registrado hasta la fecha, fue el observado en el año 1947 (de febrero a mayo), cuya superficie alcanzó unas 6 milésimas de aquella superficie. Las manchas aparecen, generalmente, en dos zonas, a un lado y otro del ecuador solar, entre los 5° y 40° de latitud, llamadas *zonas reales*. Si se mide a diario la totalidad de las manchas que existen y al fin del año se halla la media de los números encontrados, se observa que esta media anual varía de unos años a otros y marca lo que se denomina «actividad solar», cuyos máximos presentan un período de unos 11 años. En las épocas de mínimo de actividad solar no se ve, a veces, ninguna mancha durante semanas; en cambio, en la proximidad de los máximos no hay ningún día sin manchas durante algunos años. Otro hecho curioso es que después de un mínimo de actividad las manchas primeras aparecen lejos del ecuador, en el límite superior de las zonas reales, y van aproximándose progresivamente al ecuador, hasta el mínimo siguiente.

El examen espectroscópico de la luz de las manchas

comprueba la hipótesis de que las manchas son regiones turbillonarias en las que reina un campo magnético muy intenso, el cual se hace a veces sentir sobre la Tierra (tempestad magnética). Cuando se considera un grupo de dos manchas, tienen polaridades opuestas, la que va en «cabeza» de la que va en «cola»; estas polarizaciones son invertidas, en una pareja que esté sobre el ecuador, de otra que esté bajo el ecuador solar. Además, estos fenómenos son invertidos al pasar de un ciclo de actividad solar al siguiente.

PROTUBERANCIAS. Son a modo de grandes llamaradas de formas variadas, que arrancan de la cromosfera o «suelo» solar, proyectándose, a través de la atmósfera solar, a enormes distancias, a veces centenares de miles de kilómetros. Pueden observarse con un antejo asociado a un espectroscopio y parecen inmóviles; mas, fotografiadas a intervalos de tiempo determinados, se puede estudiar su evolución y demostrar su movimiento, obteniendo actualmente, mediante dispositivos apropiados, películas documentales sumamente interesantes e impresionantes, logradas a fuerza de habilidad, ingenio y paciencia. Una protuberancia normal es una especie de nube tenue, de una anchura de 200.000 Km, una altura de 40.000 y un grueso de 6.000 Km. Algunas alcanzan distancias hasta de 800.000 Km, superior al radio del Sol, no siendo raras las que alcanzan distancias de 150.000 Km. Su forma y tamaño es muy variable, así como sus movimientos. El estudio cinematográfico ha revelado en estos últimos años, la complejidad de esos movimientos, más o menos violentos, siendo éstos, en alguno de ellos, de tipo turbillonario convectivo, semejante al que se observa en las nubes terrestres denominados cúmulos; en otras, las *eruptivas*, es de tipo «proyectivo», y semejan a inmensas nubes de gases violentamente expulsadas del Sol que se difuminan alrededor de él, como si la materia de que están formadas no volviera a él. Por el contrario, un espectáculo maravilloso es el de una fuente luminosa, que parece estar fuera del Sol, como si en ella se crease la materia luminosa, que se desgrana en flecos materiales luminosos que caen sobre el Sol, formando arcos de curva-



turas armoniosas. Algunas protuberancias de las llamadas *quiescentes* son observadas durante mucho tiempo, que llega a ser a veces de 3 y 4 meses; en cambio, las *eruptivas* duran corto tiempo. Estas protuberancias eruptivas están íntimamente relacionadas con la formación de las manchas solares y son de fuerte emisión radioeléctrica o de radioondas. Cuando se encuentran en el borde del disco solar se las puede observar bien porque surgen o se apoyan en la cromosfera en puntos diversos, como puentes de arcos múltiples.

La cromosfera es visible durante el corto intervalo de un eclipse total de Sol, apareciendo como un delgado anillo luminoso de color rosa vivo, siendo el espectro de su luz de rayas brillantes, sobre un fondo oscuro, precisamente el espectro invertido de la luz solar ordinaria, que es un espectro de absorción formado por un fondo brillante surcado por rayas oscuras de absorción: son las mismas brillantes anteriores. En la actualidad se tienen dispositivos que permiten producir «eclipses artificiales» y obtener el espectro de la cromosfera, así como los «accidentes» de ésta, como son las protuberancias, sin necesidad de esperar para ello la producción de un eclipse total.

CORONA. La *corona solar* es bien visible a simple vista durante un eclipse total, como una especie de aureola plateada que se extiende, no de un modo uniforme, a grandes distancias del disco solar, presentando agudos salientes en las regiones de los polos solares. Su forma está íntimamente relacionada con la actividad solar. Cuando ésta es máxima, la corona se extiende casi uniformemente alrededor del disco solar; por el contrario, cuando es mínima hay alargamiento pronunciado en la dirección del ecuador solar. La corona está formada por una especie de gas, muy enrarecido y a muy elevada temperatura ($1.000.000^{\circ}\text{C}$), formada por átomos fuertemente ionizados, como lo prueba el espectro de su luz, siendo debida su visibilidad a la difusión de la luz solar por los abundantes electrones en ella existentes provenientes de la ionización de los átomos que la forman, principalmente hierro, níquel, calcio y argón, que han perdido hasta 10 y 15 electrones periféricos,

por los violentos choques entre sí, originados por la agitación térmica a tan elevada temperatura. La parte más exterior de la corona está formada casi exclusivamente por electrones y *polvo*, formado por núcleos, prácticamente desprovistos de cortejo electrónico, cuya proporción aumenta hacia el espacio interplanetario.

Tanto las manchas como las protuberancias y la corona son radiofocos intensos. Para el radioastrónomo el tamaño del Sol depende de la longitud de onda utilizada para su estudio. Para longitudes de onda de unos pocos centímetros el tamaño del Sol es análogo al del que vemos con nuestros ojos; mas, a medida que aumenta la longitud de onda, aumenta también ese tamaño que ve el radioastrónomo. Cuando se utilizan longitudes de onda de unos pocos metros su radio es varias veces mayor que el radio óptico. Si nuestros ojos fuesen sensibles a estas radioondas, el Sol nos parecería mucho mayor y probablemente bastante aplastado y no esférico como el que vemos.

LAS AURORAS

Esa «nube» de radiación corpuscular que forma la corona, se extiende al espacio interplanetario, alcanza a la Tierra y forma parte de los rayos cósmicos que se registran en la alta atmósfera y es la que produce las auroras. La *aurora* o *luz del Norte*, como también es conocida, es uno de los espectáculos naturales más impresionantes. En su presentación aparecen corrientes coloreadas a través del cielo, como especie de cortinas luminosas temblorosas y cambiantes de forma. En el «apex» de su desarrollo, el cielo parece como encendido o iluminado por un gigantesco incendio, con silenciosas llamas verdes y rojas danzando de un lado para otro. Entonces, después de un rato, el espectáculo se desvanece y solamente quedan algunos débiles arcos rojizos. Las auroras son más frecuentes en las regiones polares: la de la región norte recibe el nombre de *aurora borealis* y la del Sur *aurora australis*. Se producen a alturas atmosféricas comprendidas entre 80 y 180 Km.

Las radiaciones corpusculares solares que originan las auroras tardan en llegar a la Tierra un día; por su interacción con las moléculas gaseosas atmosféricas de oxígeno y nitrógeno, principalmente, ionizan éstas y al recombinarse emiten la luz característica de los átomos correspondientes. El proceso es análogo al que tiene lugar en un tubo de neón o en los empleados para anuncios luminosos y, en general, al clásico que produce la descarga eléctrica a través de un gas enrarecido. Los matices verdes son producidos por las moléculas de O; los rojos, por éstas, y las de N, y los rojos azul verdoso por las de hidrógeno. Como es sabido, la Tierra constituye un gigantesco imán; las partículas eléctricas bajo la acción de su campo magnético, son desviadas de su trayectoria rectilínea y obligadas a girar alrededor de las líneas de fuerza del campo magnético, describiendo trayectorias espirales, concentrándose, por tanto, en las regiones polares, en las que sus efectos ionizantes serán más intensos. Sin embargo, el mayor número de auroras se produce, no en los polos magnéticos mismos, sino en una zona alrededor de ellos de unos 2.500 kilómetros de diámetro. Fuera de esta zona, las auroras son raras; sin embargo, cuando la actividad solar es excepcionalmente intensa, la nube de partículas expulsadas por el Sol y que llega a la Tierra, es tan inmensa que pueden observarse auroras excepcionales lejos de esa zona, hacia el ecuador. La aurora del 10 al 11 de febrero de 1958 fue excepcional y una de las más notables registradas por su intensa luz roja y la gran altura atmosférica en que se produjo.

LA RADIACIÓN SOLAR

Con ser maravillosa la contemplación de los accidentes solares antes vistos (manchas, protuberancias, etc.), no es, ni mucho menos, comparable al grandioso espectáculo que a diario contempla la humanidad desde los tiempos más remotos, de la colosal cantidad de energía que emite al exterior de sí el Sol en forma de energía radiante, corpuscular o electromagnética (radioondas, térmica, lumi-

nosa, etc.), una ínfima parte de la cual es la que alimenta toda la vida orgánica en la Tierra.

Un sencillo cálculo nos permite determinar esa fabulosa cantidad de energía térmica radiada por el Sol. La constante solar o cantidad de energía recibida por minuto y por centímetro cuadrado en posición normal a los rayos solares a la distancia media de la Tierra, vale unas 2 cal. (1,94 cal.). Puesto que esa distancia es de unos 150.10^6 Km = 15.10^{12} cm, resulta que la cantidad total de calor radiado por el Sol vale $4\pi 15^2 \cdot 10^{24} \cdot 2 \simeq 5,5 \cdot 10^{27}$ cal/mín. $\simeq 3.10^{33}$ cal. por año, cifra esta fabulosa, de la que no nos podemos dar idea. Puesto que la masa del Sol es de unos 2.10^{33} gm, resulta que por término medio el Sol radia hacia el exterior por gm una cantidad de energía del orden de 1,5 cal. por año.

Por otra parte sabemos, por el estudio de los depósitos radioactivos, que la vida sobre la Tierra data de unos dos mil millones de años. En consecuencia, cada gramo de materia solar ha irradiado en este tiempo, por lo menos, *¡tres mil millones de calorías!*, y lo más sorprendente del caso es que tal irradiación de calor se ha producido sin notable disminución de la temperatura del Sol, ya que si hace dos mil millones de años la temperatura efectiva del Sol hubiese sido notablemente superior a la actual, la temperatura terrestre hubiese sido tan elevada que hubiera sido imposible el desarrollo de la vida en la Tierra. Sin duda en el Sol existe una fuente de energía que produce una cantidad de calor igual a la que irradia por unidad de tiempo, conservando de este modo su temperatura efectiva casi constante. Pero, ¿cuál es la naturaleza de esta fuente de energía que permite mantener constante este «fuego eterno»? Esta pregunta es la que siempre se ha estado haciendo el hombre pensador desde los más remotos tiempos, sin que haya podido, no sólo dar, sino vislumbrar respuesta adecuada y ha sido para él uno de los enigmas más celosamente guardados por la Naturaleza. Los viejos astrólogos habían hipotetizado combustiones a semejanza de las hogueras terrestres, pensando que el horno solar era alimentado por la caída en él de meteoritos en número suficiente, hipótesis absurda, ya que basta pensar que un gramo de

carbón engendra en su combustión total ocho mil calorías, mientras que se trata aquí de *¡miles de millones!*

La primera hipótesis con fundamento científico fue la dada por Helmholtz a fines del siglo pasado, al suponer que el origen del calor solar está en el trabajo ejercido por la gravedad solar en la formación y en la progresiva contracción del globo solar. Según esta hipótesis, cada gramo de materia solar podría irradiar veintiséis millones de calorías; a razón de 1,5 calorías al año, resulta una vida para el Sol de unos 20 millones de años, cifra a todas luces pequeñísima, por lo que es preciso rechazar esta hipótesis, por ser insuficiente para explicar los fenómenos y pensar en otro tipo de fuente de energía que alimente, no sólo la hoguera solar, sino también la del sinnúmero de estrellas que pueblan el Universo. En la actualidad parece ser que el hombre ha encontrado la respuesta a esta vieja pregunta al descubrir la energía nuclear, ya que sin duda es esa fuente de energía la que la produce por las reacciones nucleares que tienen lugar en el seno de estos astros, verdaderos reactores termonucleares en los que la energía radiante se produce a expensas de la materia de los mismos que se aniquila en los diversos procesos nucleares que tienen lugar. Para tener una idea del efecto de producción de energía que da lugar al proceso de aniquilación basta saber que según la ecuación de Einstein $E=mc^2$, que rige este fenómeno, la aniquilación de un gramo de materia da lugar a $E=9.10^{20}$ erg. $\simeq 10^{14}$ julios $\simeq 10^{13}$ Kgm $\simeq 27.10^6$ Kw.h $\simeq$ *¡veintisiete millones de kilovatios hora!!* Para que una reacción de fusión nuclear tenga lugar es preciso que dos núcleos se aproximen tanto entre sí que pueda producirse la fusión de ellos. Como estos núcleos son entes cargados positivamente, entre ellos existe la repulsión coulombiana y para lograr la aproximación precisa entre ellos deben ser lanzados el uno contra el otro con velocidad suficiente, bien por medio de potentes aceleradores de partículas, o bien por la acción cinética que adquieren las partículas por la agitación térmica. A una elevada temperatura esta agitación térmica puede ser suficiente para hacer que en los choques entre los núcleos la aproximación de éstos sea la suficiente para lograr su fusión. Indudablemente, cuanto

mayor sea la carga de los núcleos o, lo que es lo mismo, su número atómico Z , mayor será la violencia precisa de los choques, o bien la temperatura necesaria para la fusión. Los núcleos ligeros (pequeño Z) requerirán para su fusión temperaturas menores que los pesados (gran Z). Así, pues, las reacciones nucleares más fáciles de lograr serán aquellas de los núclidos del hidrógeno entre sí o de éstos con los de Li, Be, Bo y C. Cada una de ellas necesita una temperatura de producción, y en cada una tiene lugar en el proceso de fusión una pérdida de masa o aniquilación de materia que se convierte en energía, bien radiante o cinética. La temperatura precisa para esos procesos nucleares es de unos 10^6 °C, que pudo lograrse en un principio por la acción contractiva de la hipótesis de Helmholtz. Una vez iniciadas estas reacciones, ellas mismas, como en una combustión ordinaria, proporcionan la energía y temperatura necesarias para proseguir el proceso. Mas la reacción nuclear más importante de las que tienen lugar en el Sol actual y en muchas estrellas de tipo análogo es la de la conversión del hidrógeno en helio, mediante el llamado *ciclo del carbono* o sucesión de reacciones nucleares en las que toma parte el carbono, el cual es regenerado en el ciclo, haciendo, por tanto, un papel de «catalizador» y en cuyo ciclo hay la formación de un núcleo de He (un helión) a expensas de cuatro núcleos de hidrógeno ligero (cuatro protones), o sea «se quema H para producir He».

Como resumen de lo anterior podemos formular la siguiente hipótesis cosmogónica sobre el origen del calor solar y estelar. En un principio, en época antiquísima, toda la materia que hoy está acumulada en el Sol y en las estrellas se encontraba difundida en el espacio, al estado de gas frío y muy enrarecido. Al condensarse en núcleos o globos, por efecto de la atracción newtoniana, fue elevándose la temperatura por conversión de la energía potencial en cinética y al alcanzar una temperatura suficiente, se inicia la primera reacción nuclear en el interior de esas masas globulares. Las reacciones protón-litio, protón-berilio y protón-boro se extinguieron pronto (al menos en algunas estrellas) debido a la poca abundancia de estos elementos; mas el calor producido por ellas fue el necesario



para iniciar el ciclo del carbono, al cual se debe principalmente la energía en el Sol y en la mayor parte de las estrellas.

El hecho de que sobre la Tierra el helio es relativamente poco abundante, mientras que el litio, el berilio y el boro son más abundantes o, al menos, más abundantes que en el Sol, indica que si la Tierra ha tenido su origen en el Sol, se separó de él en una época en la cual los procesos nucleares se habían apenas iniciado, o sea, cuando el Sol era «muy joven».

Para hacer el cálculo de la energía producida en el proceso nuclear de la transformación del hidrógeno en helio, basta tener presente que la masa de un núcleo de hidrógeno, o sea un protón, es de 1,008 u.m.a., y la de uno de helio, o sea un helión, es de 4 u.m.a. En cada proceso unitario hay, pues, una pérdida de masa de 0,032 u.m.a. en total, o sea que cada protón pierde una masa de $1/125$ de su propia masa. Resulta, pues, que si un gramo de hidrógeno es transformado en helio, se tiene una pérdida de unos 8 mg, la cual equivale, según la ecuación de Einstein, a una energía de $E = 0,008(3 \cdot 10^{10})^2 \simeq 7 \cdot 10^{18}$ erg. $\simeq 2 \cdot 10^{11}$ cal = *= ¡¡doscientos mil millones de calorías!!* Puesto que el hidrógeno es extraordinariamente abundante en el Sol, suponiendo que toda su masa fuera hidrógeno, a razón de 1,5 cal por gramo y año que irradia actualmente, según dijimos, podría seguir irradiando al mismo tenor durante unos *¡¡¡cien mil millones de años!!!*

TERCERA ETAPA: EL SISTEMA SOLAR

GENERALIDADES

Si a nuestro viajero «luminoso» lo imaginamos dotado de sentidos apropiados, podría contemplar desde el Sol el espectáculo maravilloso que para él presentaría el llamado «sistema solar». Contemplaría el Sol, con su actividad antes señalada y girando alrededor de él con órbitas elípticas casi circulares, forzados por la misteriosa fuerza de la gravitación solar, a los nueve planetas, cuyos nombres son bien familiares a todos, muchos de ellos acompañados de su cortejo de satélites gravitando a su alrededor; a los millones de asteroides o planetoides, muchos de ellos, a excepción de los cuatro mayores, probablemente bloques rocosos de forma irregular y de diámetro, los mayores, comprendidos entre algunos centenares de kilómetros y algunos kilómetros; los *meteoritos*, o bloques metálicos y minerales diversos, cuyas dimensiones transversales varían desde algunas decenas de metros a menos de un milímetro, cuya existencia dificultará los futuros vuelos espaciales por su posible impacto con las naves espaciales, ya que dada su gran velocidad de traslación constituirán poderosos proyectiles; los cientos de miles de millones de cabezas de *cometas*, cuyas trayectorias elípticas son, en general, fuertemente excéntricas, alcanzando en algunos de ellos su eje mayor valores comprendidos entre 350.000 y 400.000 U. A.

Podría creerse que este Sistema planetario está densamente poblado y no es así; la masa total de la materia extrasolar es una ínfima parte de la masa del Sol. Todo este



espacio ocupado por el sistema solar está bañado o surcado por la variada radiación (corpúscular y electromagnética) que parte del Sol o que proviene de las estrellas y nebulosas exteriores a él.

En este conjunto sideral podría apreciar ciertas armonías, regularidades y anomalías que cualquier hipótesis cosmogónica que se haga sobre el origen de este conjunto celeste ha de poder explicar físicamente de un modo satisfactorio, para ser digna de tener en cuenta.

Entre las armonías más notables que pueden apreciarse al observar los planetas están las siguientes: las órbitas de los planetas son, aproximadamente, coplanarias con el ecuador solar, haciendo algo de excepción la de Mercurio, inclinada unos 7° respecto a dicho plano común, y la de Plutón, con una inclinación de unos 17° . Las órbitas de los asteroides están algunas de ellas, también, fuertemente inclinadas sobre ese plano: por ejemplo, en Ceres 11° y en Pallas 35° . En cuanto a la forma de esas órbitas planetarias, todas ellas son elípticas, muy poco excéntricas, por lo que, aproximadamente, pueden considerarse como circulares, siendo excepcionales las excentricidades de la órbita del planeta Plutón (0,25) y las de algunos asteroides (Hidalgo: 0,65; Adonis=0,78; Ícaro=0,8). La excentricidad de la órbita de la Tierra (la eclíptica) es de 0,017.

Todos los planetas y asteroides giran alrededor del Sol en el mismo sentido, llamado *sentido directo*, que es, asimismo, el sentido del giro del globo solar sobre sí mismo. En este mismo sentido giran la mayor parte de los satélites alrededor de su planeta y en órbitas coplanarias con su plano ecuatorial; son los llamados satélites *buenos*. Mas hay 11 satélites llamados *malos*; de ellos 5 giran en el buen sentido o sentido directo, como los *buenos*, pero no son buenos más que en apariencia, ya que sus órbitas, fuertemente excéntricas o muy inclinadas respecto al plano ecuatorial del planeta, obliga a calificarlos de malos. Los otros 6 giran en sentido inverso o retrógrado, o sea, son francamente *malos*.

Las distancias de los planetas al Sol crecen regularmente de Mercurio a Plutón. Esta regularidad queda de manifiesto en algunas reglas prácticas. Así, por ejemplo, la lla-

mada ley de *Bode-Titius* establece, que si se escribe la serie de los 9 números

0; 3; 6; 12; 24; 48; 96; 192; 384, y 768

obtenida a partir del tercero doblando el precedente, y a cada uno de esos números le sumamos 4 y dividimos la suma por 10, obtendremos la serie siguiente:

0,4; 0,7; 1; 1,6; 2,8; 5,2; 10; 19,6; 38,8; 77,2

la cual representa, aproximadamente, en unidades astronómicas (U. A.) las distancias medias del Sol a los diversos planetas: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Asteroides, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón. Esta ley, completamente empírica y sin fundamento físico, da valores muy aproximados a los verdaderos, salvo para Neptuno, que es $\simeq 30$ y Plutón $\simeq 40$ U. A. Esta ley se la puede representar algebricamente por la expresión

$$d=0,4+0,3.2^n$$

en la que d es la distancia del planeta y n su número de orden a partir de Venus, supuesto 0 el número de orden de Venus y $-\infty$ el de Mercurio.

Otra regla práctica bastante útil es la siguiente: la raíz cuadrada de la distancia de los planetas al Sol aumenta una cantidad constante al pasar de un planeta al siguiente. Dicha constante vale en U. A. para los planetas inferiores (Mercurio, Venus, Tierra y Marte), 0,20 y para los superiores (Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón), 1.

A excepción de Urano, todos los planetas giran sobre sí mismos en sentido directo, siendo el período de su rotación muy variado de unos a otros; así, por ejemplo, el período de rotación de Mercurio y quizá Venus, es el mismo que el de traslación alrededor del Sol; por ello ambos planetas presentan siempre la misma «cara» al Sol; el de la Tierra es de 24 horas; el de Marte, 25 horas; el de Júpiter, 10 horas; el de Saturno, 11 horas; el de Urano, 10 horas 45 minutos, y el de Neptuno, 16 horas, siendo mal conocido el de Plutón.

En las regiones más próximas al Sol se mueven los llamados *planetas terrestres* (Mercurio, Venus, Tierra y Marte), formados de masas sólidas, de constitución y tamaño semejantes a los de la Tierra; en las más alejadas o exte-

riores se encuentran los llamados *planetas gigantes* (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno), formados por gigantescas esferas gaseosas, cuyo componente principal es el hidrógeno, en las que no es segura la existencia de un núcleo central sólido. Sin duda que, para los futuros astronautas, los planetas serán las metas de viaje más interesantes e inmediatas o mejor podríamos decir las únicas, verosíblemente posibles, aun dejándonos llevar por un excesivo optimismo, dadas las limitaciones biológicas del hombre y la duración media de su vida; pues no debemos olvidar que la estrella más próxima está a una distancia tal que *¡la luz tarda unos cuatro años en recorrerla!* Entre los planetas, los más atractivos serán aquellos en los que piense encontrar formas o manifestaciones de vida. Ahora bien, cabe preguntar: ¿qué se entiende por condiciones de vida en un planeta? Para responder es necesario precisar qué entendemos por vida tal como la conocemos en la Tierra. Sin negar la posibilidad de otras formas de vida en circunstancias completamente diferentes, tal como a más altas o más bajas temperaturas, en ausencia de oxígeno u otros factores primordiales, es obvio que nada conocemos de esas posibles formas de vida y ni de las circunstancias que permitan su desarrollo. Las circunstancias que hacen posible la vida en la Tierra nos son bien conocidas. Sin entrar en detalles podemos decir que las circunstancias esenciales son: a) presencia de carbono en las capas exteriores del planeta y posiblemente también en la atmósfera; b) presencia de oxígeno en la atmósfera del planeta; c) presencia de agua líquida en el planeta. Esta última condición limita las distancias máxima y mínima del Sol, dentro de las cuales la vida puede tener lugar, si a la vez ocurren las otras dos, ya que la temperatura de un planeta es dada fundamentalmente por su distancia al Sol y el agua es líquida entre 0° y 100°C a la presión normal. La región dentro de la cual es posible la existencia de planetas o mundos habitados se llama *ecosfera*. Las dimensiones de esta esfera son diferentes para cada Sol y depende de la cantidad de calor radiado por él. Para nuestro Sol solamente los planetas Venus, Tierra y Marte caen dentro de su ecosfera; por esta razón al considerar a Venus y Marte como los objetivos

principales de los próximos astronautas, su estudio informativo lo haremos con algún mayor detalle que para el resto de los planetas, excluyendo de este estudio el de nuestro planeta, por considerar que de él todos sabemos algo más que de los otros.

PARTICULARIDADES

Si nuestro viajero, jinete de un rayo luminoso, sintiese la curiosidad de examinar de cerca estos diversos astros que forman el sistema solar, podría hacerlo trasladándose desde el Sol a sus proximidades, en tiempos fáciles de calcular conocidas las distancias a ellos antes indicadas en U. A. y sabiendo que tarda en recorrer una U. A. aproximadamente ocho minutos. Por los datos que tenemos de su observación astronómica terrestre deducimos que podría contemplar las siguientes particularidades, que precisaremos con mayor detalle y más prolijamente con los dos planetas más «de moda», Venus y Marte, ya que ellos constituyen, después de la Luna, los principales objetivos de los futuros viajes extraterrestres que efectúen nuestros astronautas, por su mayor parecido físico con la Tierra y en los que posiblemente se puedan encontrar manifestaciones de vida similares a las de la Tierra.

MERCURIO

Es el planeta más próximo al Sol y a su vez el más pequeño de los planetas, pues sus dimensiones y su masa son poco mayores que las de la Luna. Es muy difícil ver a Mercurio, aunque su brillo sea, en algunos casos, superior al de Sirio, la estrella más brillante del cielo. La dificultad es debida a que, por su proximidad al Sol, su mayor distancia angular no es superior a 28° ; por lo tanto no es observable más que poco antes de salir el Sol (estrella matutina) o poco después de ponerse (estrella vespertina), o sea en posiciones poco favorables para su observación. Visto con un antejo, Mercurio presenta fases como la Luna y sus dimensiones no son fáciles de medir; su diámetro apa-

rente varía entre 5" en la conjunción superior o exterior (Sol entre el planeta y la Tierra) y 13" (planeta entre el Sol y la Tierra). En su superficie se aprecian algunas regiones sombreadas fijas, que han permitido medir su período de rotación sobre sí mismo y comprobar que su valor es igual al de traslación alrededor del Sol, que vale 88 días; así, pues, el planeta presenta siempre la misma cara al Sol, como la Luna a la Tierra. Su suelo es sólido y presenta gran analogía con el suelo lunar, tanto en su aspecto como en su constitución, ya que refleja la luz solar lo mismo que el lunar. Como la Luna, carece de atmósfera, por su débil acción gravitatoria para evitar la disipación o difusión de la misma en el espacio interplanetario.

Debido a la particularidad de su rotación, la cara que mira perpetuamente al Sol alcanza una temperatura muy elevada, unos 400°C (superior al punto de fusión del plomo y del cinc), en tanto que la otra cara o hemisferio, perpetuamente en sombra, tiene una temperatura muy baja, muy próxima al cero absoluto, e inferior, por tanto, a los puntos de licuación de los gases permanentes.

A excepción de Plutón, la órbita de Mercurio es la más inclinada sobre la eclíptica (unos 7°) y la más excéntrica. Por esta fuerte inclinación de su órbita, el planeta pasa raramente delante del disco solar para un observador terrestre. Esto sucede solamente cuando Mercurio se encuentra, en la época de su paso, en la proximidad de uno de sus nodos, o sea, del plano de la eclíptica, lo cual ocurre unas 13 veces por siglo. El último paso ocurrió el año 1959 y nuestro compañero y querido amigo Dr. Febrer, Catedrático de Astronomía de nuestra Facultad de Ciencias, hizo unas magníficas fotografías que después tuvo el buen gusto de difundir entre sus amistades, al utilizar una de ellas como motivo decorativo de un «cristma». Estos pasos de Mercurio no son visibles a simple vista. Por medio de un anteojito se ve al planeta proyectado sobre la superficie solar como un pequeño punto negro que atraviesa el disco solar en unas horas, moviéndose de Este a Oeste. El paso es visible desde cualquier punto de la Tierra que se vea el Sol.

VENUS

Datos astronómicos. Su distancia media al Sol es de 0,7 U. A. $\simeq$ 108 millones de Km. Revoluciona alrededor del Sol en sentido directo, con un período o año de unos 225 días, en una órbita elíptica, la menos excéntrica de todos los planetas (0,007) y casi coplanaria con la terrestre o eclíptica (pues su inclinación es de unos 3°). Tomando como unidad la Tierra, su diámetro vale 0,97 (casi igual); su masa es 0,8 y su volumen 0,9, con una densidad media de 5, respecto a la del agua, siendo la terrestre 5,5. Su albedo es de 0,6 y su magnitud máxima $-4,4$, siendo la de Sirio (la estrella más brillante del cielo) $-1,6$. Venus no tiene satélites.

Datos físicos. Es el planeta que vemos desde la Tierra más brillante que cualquier otro astro, a excepción del Sol y la Luna. En las épocas de su máximo, su brillo es 6 ó 7 veces superior al de Sirio, la estrella más brillante. Si se sabe dónde se encuentra sobre la bóveda celeste, puede ser observado en pleno día.

Es un *planeta interior*, como Mercurio, y por ello como él, presenta *fases*, las cuales fueron ya observadas por Galileo con su primitivo anteojo. El diámetro aparente con que es visto desde la Tierra varía entre amplios límites: $11''$ y $67''$. En efecto, cuando el planeta está en conjunción superior con la Tierra (el Sol entre ambos), o sea en fase «llena», es visto en forma de disco luminoso, a la distancia de 250 millones de kilómetros; en cambio, cuando se encuentra próximo a la conjunción inferior o fase «nueva» (planeta entre el Sol y la Tierra) le vemos a la distancia de unos 42 millones de kilómetros. Las variaciones de brillo de Venus son debidas, pues, a las variaciones simultáneas de «fase» y distancia a la Tierra. Puesto que el planeta está en fase «llena» en el momento en que su distancia a la Tierra es máxima, los dos efectos tienden a compensarse, y así el brillo máximo lo presenta cuando tiene una fase semejante a la de la Luna, dos días antes de su fase de «cuarto creciente»; su brillo entonces es más del doble del que tiene cuando es visto en forma de disco, en la fase «llena».

Si las órbitas de Venus y la Tierra fuesen coplanarias, se vería pasar a Venus delante del disco solar en cada una de sus conjunciones inferiores. Mas como el plano de la órbita de Venus está un poco inclinado respecto al de la eclíptica, los pasos de Venus sólo se verificarán cuando una conjunción inferior tenga lugar precisamente en la proximidad de uno de sus nodos, lo cual sucede muy raramente, y por ello mismo constituye, como en el caso de Mercurio, un acontecimiento astronómico. Estos pasos de Venus tienen lugar por parejas, con un intervalo de unos 8 años de uno a otro; cada pareja está separada de la siguiente algo más de un siglo. La última pareja tuvo lugar en los años 1874 y 1882; la próxima tendrá lugar los años 2004 y 2012; pero, científicamente, no tendrán la importancia que los anteriores tuvieron para la determinación de la distancia del Sol a la Tierra (U. A.), pues se ha reconocido que este método no es de gran precisión.

Como Mercurio, pero mucho más visible, Venus puede aparecer en el cielo precediendo al Sol en su carrera (estrella matutina o lucero del alba), o bien siguiéndole (estrella vespertina o lucero de la tarde). La observación de Venus con un anteojo simple o con un gran telescopio, no permite distinguir sobre la superficie del planeta detalles precisos: ella aparece de un blanco casi uniforme. Las fotografías con luz roja o infrarroja, contrariamente a lo que sucede con otros planetas, no permiten apreciar detalles precisos sobre la superficie visible. Las fotografías con luz ultravioleta indican manchas sombreadas, que no tienen relación con el suelo del planeta y sí con las formaciones nubosas que existen en su gruesa atmósfera. El brillo o albedo elevado que presenta es una prueba de que lo que nosotros observamos son capas nubosas y no la superficie del planeta. Si hacemos la observación en época próxima a la fase «nueva» («Venus nueva»), cuando su aspecto es el de un creciente muy delgado, se percibe un alargamiento de los «cuernos» producido por la parte iluminada de su atmósfera, fenómeno éste que no es observable en la fase correspondiente de la Luna. Cuando el 7 de julio de 1959 tuvo lugar el extraordinario suceso astronómico de la ocultación por Venus de la estrella Regulus, la estrella no

desapareció bruscamente, sino que transcurrió un corto tiempo desde el instante en que comenzó a disminuir su brillo hasta el momento en que desapareció del todo; una prueba más de la existencia de una atmósfera rodeando a Venus.

Aunque Venus es el planeta que más se aproxima a la Tierra, conocemos muy poco de él con precisión. Como su gruesa y nubosa atmósfera no nos permite observar detalles de su suelo, ignoramos la naturaleza de éste y no podemos deducir el período de su rotación y la dirección del eje de esta posible rotación. Las determinaciones antiguas daban valores para este período de traslación alrededor del Sol de 225 días, en cuyo caso Venus, como Mercurio, presentaría, siempre, la misma cara al Sol. Las determinaciones posteriores a 1949 son aún muy contradictorias y los valores dados para el período oscilan entre 22 horas y 60 días. Los cálculos más recientes dan un valor de 25 días. Contradicciones análogas encontramos respecto a la dirección del eje de rotación. Resumiendo, no sabemos nada con precisión de la rotación de Venus.

En cuanto a la naturaleza del suelo, no es menor la incertidumbre, existiendo hipótesis diametralmente opuestas. Ciertos astrónomos opinan que el suelo del planeta es un desierto árido y ardiente, mientras que en opinión de otros está totalmente recubierto de agua, o sea que es un inmenso océano, en la superficie del cual emergen algunas pequeñas islas, que son las cumbres de montañas submarinas. El color amarillento de la atmósfera de Venus indica, según los primeros, la presencia de nubes inmensas de polvo del suelo. Mas como en esta atmósfera se ha encontrado que existe gran cantidad de anhídrido carbónico y no se han señalado trazas de oxígeno, esto está de acuerdo con lo que opinan los partidarios de la hipótesis oceánica, ya que el anhídrido carbónico y óxido de carbono procedente de erupciones volcánicas que podría ser absorbido por un suelo sólido para formar carbonatos, no lo es si el suelo está recubierto de agua y quedará libre en la atmósfera. Se admite que en un principio existió oxígeno, el cual desapareció por oxidación del óxido de carbono, debido a la intensa actividad química, provocada por la alta tempera-

tura ambiente. De este modo se explica la ausencia del oxígeno libre en la atmósfera en este planeta, tan parecido a la Tierra que con frecuencia ha sido llamado nuestro «planeta hermano».

La temperatura existente en la superficie de Venus es sin duda muy elevada, mayor que en la Tierra, debido a que por mayor proximidad al Sol recibe de éste mayor energía radiante por unidad de superficie y después, porque la gruesa capa de nubes que le rodea se opone a la pérdida de calor por radiación del suelo. Datos recientes de observaciones radioastronómicas indican una temperatura de 70°C, que en el suelo llegará a los 100°C, por el aislamiento que produce la envoltura nubosa, y los espectros obtenidos con globos-sonda a una altura de 24 Km indican la presencia de vapor de agua en la atmósfera. Este resultado vendría en apoyo de la hipótesis de Arrhenius, según la cual Venus sería un mundo húmedo y caliente parecido a la Tierra en la época geológica del carbonífero. Mas, si la extraña ausencia de oxígeno se confirma, la existencia de una fauna es excluida, y es muy probable que la alta temperatura de incubadora producida por el exceso de anhídrido carbónico haga que la temperatura en el suelo sea demasiado elevada para que sea posible en él la vida vegetal.

El resultado de estas hipótesis es que nos encontramos aún en un período de completa ignorancia sobre las condiciones físicas existentes en este planeta, que es el más próximo a la Tierra y en el que el hombre actual tiene más esperanzas de encontrar manifestaciones de vida vegetal y animal. Hemos, pues, de esperar a los datos más precisos y seguros que puedan proporcionarnos los futuros astronautas que puedan acercarse a él, o poner sus plantas en la superficie del mismo... sólida o líquida.

MARTE

Datos astronómicos. Su distancia media al Sol es de 1,5 U. A.=228 millones de Km; revoluciona alrededor del Sol en sentido directo, con un período o «año» de casi 2 años (1,88), y en una órbita elíptica de excentricidad 0,09

mayor que la de la Tierra (0,02). Su diámetro aparente varía de unos 4" en la conjunción, a 25" en la oposición. Tomando como unidad las dimensiones correspondientes de la Tierra, su diámetro es de 0,5, su volumen 0,15 y masa 0,1. Su eje de rotación está inclinado respecto a su plano orbital un ángulo de 24° y su período de rotación o «día» es de unas 24 horas (24 h 37 m). Su albedo vale 0,15 y su magnitud visual es de $-1,8$ en la oposición media. Su distancia máxima a la Tierra (en la conjunción afélica) es de unos 400 millones de Km $\simeq 2,7$ U. A., y su menor distancia (oposición perihélica, unos 56 millones de Km $\simeq 0,4$ U. A. La velocidad de liberación, velocidad de un proyectil que puede alejarse indefinidamente del planeta, es de 5 Km por seg.; la terrestre es de unos 11 Km/s.

Es el último de los planetas de la ecosfera y el primero en orden de proximidad a la Tierra, de los llamados planetas exteriores o superiores, aquellos cuya órbita es exterior a la de la Tierra. Por su gran brillo en las oposiciones, o sea cuando la Tierra se encuentra entre el Sol y el planeta, ya fue conocido y atentamente observado en la Antigüedad; por su color rojizo personificó en la mitología griega al dios de la guerra.

Datos físicos. De todos los planetas del sistema solar es el que más se parece a la Tierra; tiene estaciones comparables a las nuestras y su «día» tiene, aproximadamente, la misma duración que el terrestre. Aun en las épocas de su mayor aproximación, el disco de Marte es muy reducido (unos 25"), habiéndose percibido, no obstante, que su suelo es sólido y presenta detalles más o menos invariables. Para su estudio detallado es preciso utilizar los instrumentos más potentes. Observando con un anteojo medio no se ve más que un pequeño disco de color anaranjado con algunas pequeñas manchas grises apenas perceptibles y una mancha más clara cerca del borde, la cual es debida a un casquete polar o a un banco o cubierta nubosa que la recubre. En ciertas épocas y en ciertos raros momentos se perciben mucho más netos ciertos detalles del planeta y con todas las observaciones realizadas durante meses se confecciona un mapa detallado de la superficie del suelo marciano. La dificultad de estas observaciones hace que no

todos los observadores coincidan en todos los detalles, prestándose también a la posible fantasía del observador de ver más de lo que hay.

Los más antiguos dibujos o mapas de Marte son debidos a Huygens (1659) y ya en ellos se señala una mancha gris, que sigue observándose actualmente, denominada la Gran Sirte. Huygens notó que esta mancha se desplazaba durante la noche y volvía, aproximadamente, a las mismas posiciones en las noches siguientes, deduciendo de estas observaciones que Marte tiene un movimiento de rotación con una duración de unas 24 horas por vuelta, como la Tierra.

Puesto que Marte tiene una duración de traslación alrededor del Sol («año marciano») mayor que la Tierra, las oposiciones sucesivas tienen lugar cada 2 años y 2 meses (unos 780 días). En estas épocas está en mejores condiciones para ser observado por su proximidad a nosotros; por el contrario, las peores épocas de observación son las de las conjunciones (Sol entre la Tierra y Marte). Por otra parte, debido a la excentricidad de la órbita de Marte no todas las oposiciones son igualmente favorables; aquellas que tienen lugar en la parte de la órbita que está más próxima a la órbita terrestre o sea en las proximidades del perihelio, serán las más favorables para la observación del planeta, ya que su disco será visto bajo el mayor ángulo y tendrá por tanto el mayor diámetro aparente, pudiéndose observar más fácilmente los detalles y estructura de la superficie del planeta. Estas oposiciones más favorables se les llama *perihélicas* y tienen lugar en agosto o septiembre cada 15 ó 17 años. La última tuvo lugar en 1955 y la próxima se verificará en 1971. En estas oposiciones Marte puede acercarse a la Tierra hasta unos 66 millones de kilómetros y su diámetro aparente llega a ser de 25". En cambio, en las oposiciones *afélicas*, que tienen lugar en febrero, el planeta se halla a la distancia de 101 millones de kilómetros y su diámetro aparente es de 14"; la última fue en 1948 y la próxima será en 1963. En las conjunciones afélicas, la separación del planeta es máxima, del orden de 400 millones de kilómetros y su diámetro aparente es de unos 4" (3,5").

Por causa de la excentricidad de las órbitas, el instante del máximo acercamiento (perigeo) no coincide exactamente con el de la oposición; el desplazamiento en tiempo vale unos 8 días; p. eje. en 1960 tuvo lugar una oposición el 30 de diciembre, mientras que la distancia más corta fue el 25 de diciembre. Como en la época de la oposición Marte se encuentra respecto a la Tierra opuesto al Sol, es visible durante toda la noche.

Suelo. La superficie marciana presenta unas regiones de color gris-verdoso y otras más claras y color anaranjado, extensas, llamadas desiertos, que es muy posible lo sean, ya que el agua es escasa en el planeta. Los casquetes polares, la nota más destacada de la superficie observable de Marte, están formados probablemente de una delgada capa (pocos milímetros) de hielo. En la atmósfera abunda poco el vapor de agua. Las manchas grises, son posiblemente, una especie de vegetación rudimentaria formada por algas y líquenes, aunque algunos autores opinan que están formadas por cenizas volcánicas arrastradas por los vientos. En la primavera el color es más verdoso; en el otoño cambia el color, lo que apoya la creencia de que son regiones con vegetación.

Los casquetes polares también experimentan cambios con las estaciones climatológicas del hemisferio correspondiente; muy extensos en el invierno, apenas son perceptibles o desaparecen en el verano. El ciclo de estaciones no es regular; ciertos años el casquete polar disminuye más rápidamente que otros. De los dos casquetes el austral es el mejor estudiado ya que es el que se encuentra frente a nosotros en la época de las oposiciones perihélicas.

Canales. Los llamados canales de Marte son célebres desde la época de su observación primera por el astrónomo italiano Schiaparelli y han sido causa de muchas deducciones fantásticas aparecidas en la literatura de divulgación científica o novelesca, atribuyéndoles su origen a obras de ingeniería realizadas por seres racionales supercivilizados. El americano Lowell construyó en los EE. UU., en Flagstaff (Arizona) un observatorio dedicado al estudio especial y exclusivo de Marte, deduciendo de sus observaciones la existencia de gran número de finísimos canales, algunos



de longitud mayor de 5.000 Km. que él creyó firmemente eran obra de los «marcianos» y servían para distribuir el agua a través de la superficie del planeta, ya muy desecado. En las confluencias de ciertos canales aparecían como manchas verdosas llamadas «oasis». La existencia de estos canales ha sido discutidísima y con apasionamiento. Por la inseguridad de las diferentes observaciones y la imprecisión de los datos fotográficos, pronto se pensó en que podrían ser ilusiones ópticas y ya Antoniadi en 1909, dedujo de sus observaciones, la condenación de los canales, pues cuando las condiciones son favorables, desaparecen, transformándose en una especie de pequeñas manchas, más o menos alineadas o bien corresponden a la separación de dos regiones de brillo ligeramente diferente.

Atmósfera. Está probada la existencia en Marte de una atmósfera, menos gruesa que la terrestre y formada por una mezcla de nitrógeno (98 %), argón (1,5 %) y anhídrido carbónico (0,5 %), sin que se haya podido probar la existencia del vital oxígeno, el cual será muy raro, si es que existe. Las fotografías obtenidas con filtros ópticos especiales revelan detalles diferentes de su superficie; las obtenidas con luz amarilla indican nubes amarillas debidas sin duda a polvo levantado del suelo por el viento.

Estaciones. Puesto que el eje de rotación del planeta está como el terrestre inclinado respecto al plano de su órbita, se producen estaciones, cuya duración es doble que las terrestres, puesto que el año marciano es también casi doble (687 días) que el terrestre y más desiguales que las terrestres por causa de la excentricidad de la órbita marciana (0,09), mayor que la terrestre.

Según los más recientes datos proporcionados por la observación directa, la temperatura en el suelo de Marte oscilará en la zona ecuatorial entre -40°C y -25°C a la salida del Sol y -5°C y $+25^{\circ}\text{C}$ a mediodía. Estas mismas temperaturas para un lugar de latitud 45°N serán -50°C a -25°C a la salida del Sol y -30°C a 15°C al mediodía.

En los polos la temperatura desciende por la noche hasta -100°C , por tanto la atmósfera debe estar muy fría, especialmente las capas bajas en contacto o próximas al suelo. Las noches serán en verdad glaciales aun en las re-

giones ecuatoriales. Las condiciones físicas que existen, probablemente en Marte, son tan duras (temperatura baja, falta de agua, composición de la atmósfera, ausencia en ella, prácticamente, del oxígeno) que hace suponer, con fundamento, que sobre su suelo no es posible la vida y por tanto la existencia de seres vivos superiores, si bien puede existir, no es seguro, una débil vegetación, así como bacterias y otros microorganismos. En estos últimos años, los biólogos rusos han efectuado experiencias en la alta meseta del Pamir, en la que existen condiciones climatológicas y atmosféricas algo parecidas a las existentes en Marte a las latitudes medias, habiéndose encontrado más de 200 especies de plantas diferentes. La temperatura media anual en esta región terrestre es superior a 0° C.; el aire es muy seco, pues la humedad relativa a mediodía desciende, a veces, hasta cero. El clima seco y frío de Marte no es pues obstáculo para la posible existencia allí de vegetación.

El argumento principal en favor de la existencia de vegetación, aunque rudimentaria en las estepas marcianas, es el del cambio de coloración que experimentan las regiones grises o sombreadas que se perciben en su suelo, así como de forma, al cambiar las estaciones, cambios difíciles de explicar con las propiedades de las sustancias minerales. Además, la persistencia de estas manchas, no obstante las nubes de polvo levantadas por los vientos en las partes desérticas y depositado por toda la superficie del planeta, hace suponer que la materia que da color a estas regiones tiene un poder regenerador. Por otra parte, recientemente, en 1958, el investigador norteamericano Sinton ha podido demostrar espectroscópicamente la existencia en el espectro de Marte de tres bandas de absorción, características del enlace carbono-hidrógeno de las moléculas orgánicas. Una de las bandas parece debido a hidratos de carbono. Después de este notable descubrimiento se puede afirmar con probabilidades de acierto, que la materia que recubre las manchas grises es de origen orgánico, ya que es muy difícil comprender como moléculas de tal complejidad puedan ser fabricadas por la sustancia que recubre las manchas grises, si dicha sustancia no es «materia viva». No obstante, la existencia de forma de vida más

evolucionada, no está probada y la ausencia del oxígeno en la atmósfera marciana hace muy improbable la existencia de una «vida animal». Hemos de tener paciencia y esperar llenos de curiosidad las noticias que de este curioso y enigmático planeta nos traigan los futuros astronautas que se acerquen a él, en sus naves espaciales o pongan la planta, con bandera colonizadora, sobre su suelo y puedan regresar a la Tierra con la información precisa para aclarar este apasionante enigma de la existencia de vida, semejante a la terrestre en otros mundos.

Satélites. Marte tiene dos satélites o lunas, cuyos nombres son *Fobos* (terror) y *Deimos* (espanto). Ambos son «satélites buenos», de los que revolucionan alrededor del planeta en sentido directo, en órbitas coplanarias con el plano ecuatorial del planeta. Son de pequeño tamaño, mucho menor que nuestra Luna y por lo mismo de suelo sólido y carentes de atmósfera.

Fobos es un satélite muy curioso; su diámetro es de unos 15 kilómetros; revoluciona alrededor del planeta a la pequeña distancia del centro de Marte de unos 6.000 Km y con un período de unas 8 horas. Como el período de rotación o día de Marte es de unas 24 horas, el satélite revoluciona más deprisa que gira un punto del ecuador marciano, por lo cual para un «marciano» esta luna sale por el Oeste y se pone por el Este, tres veces por día. Además su densidad es muy pequeña, menor que la del agua, lo que hace suponer la existencia en su interior de grandes oquedades o que sus materiales son muy ligeros. Estas curiosidades han sido, sin duda, la base de la hipótesis fantástica que han divulgado los periódicos de que *Fobos* es un satélite artificial, una especie de «Eco» puesto en órbita por marcianos supercivilizados en época remotísima. Este satélite se aproxima lenta y gradualmente al planeta, por lo que su velocidad aumenta el 1 % cada dos millones de años, lo que hace prever que el satélite tocará el suelo del planeta dentro de unos 40 millones de años.

Deimos tiene un diámetro de unos 8 Km y se mueve alrededor de Marte a la distancia de unos 23.500 Km con un período de revolución de unas 30 horas, un poco superior, como se ve, al de rotación del planeta, por lo cual

Deimos permanece sobre el horizonte marciano durante unas 60 horas consecutivas, ya que el sentido de su revolución es el mismo que el de rotación de Marte. Dado su pequeño tamaño no es visible más que con anteojos o telescopios muy potentes.

ASTEROIDES

Por este nombre se conocen una infinidad de planetitas o cuerpos celestes muy pequeños, comparados con los planetas, que revolucionan alrededor del Sol en órbitas comprendidas entre las de Marte y Júpiter, más o menos excéntricas e inclinadas respecto a la eclíptica, todas ellas recorridas en sentido directo; no hay pues asteroide o planetoides que sea francamente malo. Su distancia al Sol está, pues, comprendida entre 2 y 4 U. A. y su período de revolución comprendido entre 4 y 5 años para la mayoría de ellos; siendo los valores más extremos para algunos, 2 y 12 años. Varios tienen una órbita tan excéntrica y alargada, que pasan próximos a la Tierra; particularmente Eros pasa a una distancia de unos 22 millones de kilómetros y el más próximo, Hermes, a 1,5 millones de kilómetros, pudiendo llegar hasta 350.000 Km, o sea, que su órbita penetra hasta el interior de la órbita de la Luna, resultando por ello nuestro vecino espacial más próximo.

Todos ellos son demasiado pequeños para que puedan tener atmósfera, siendo sus formas y dimensiones muy variadas. Son generalmente de forma irregular y se les puede considerar a la mayor parte de ellos como inmensos bloques rocosos gravitando alrededor del Sol; particularmente Eros, que presenta variaciones de iluminación tales, que hace suponer con lógica que se trata de un trozo rocoso de forma alargada, girando con un período de unas 5 h alrededor de un eje normal a su dimensión mayor, lo cual producirá las variaciones de luminosidad en él observadas.

Los más notables son los siguientes:

Ceres es el mayor de los asteroides y el primero que fue descubierto. Tiene un diámetro de unos 700 Km y un período de revolución alrededor del Sol de 4,6 años con uno

de rotación de unas 9 horas. La inclinación de su órbita respecto a la eclíptica es de unos 11° .

Pallas es el segundo en tamaño de los asteroides, tiene un diámetro de unos 450 Km y una órbita fuertemente inclinada (unos 35°), respecto al plano de la eclíptica, siendo el período de su revolución como el de Ceres: 4,6 años.

Vesta es el tercero, en tamaño, de los planetoides, pues tiene un diámetro de 390 Km. Describe una órbita no muy excéntrica (0,09) ni muy inclinada respecto a la eclíptica (7°), con un período de revolución de 3,6 años. Aunque no sea el asteroide mayor, es el único visible a simple vista, en su oposición, como una estrellita de magnitud 6,5 (apenas perceptible).

Juno tiene un diámetro de unos 240 Km; describe una órbita bastante excéntrica (0,13), e inclinada respecto a la eclíptica (13°) con un período de revolución de unos 4,4 años (próximo al de los dos primeros).

Hidalgo es un pequeño asteroide, de diámetro 44 Km, que describe una órbita elíptica fuertemente excéntrica (0,65), con un perihelio próximo a la órbita de Marte y su afelio a la de Saturno, y la más inclinada respecto a la eclíptica (43°); es pues, por esta fuerte inclinación de su órbita un planetoides «malo». El período de su revolución es de unos 14 años.

Ícaro es un pequeño asteroide de 1 Km de diámetro, que tiene la notable particularidad de que su órbita es la más excéntrica de las de los planetoides (0,23), después de la de Hidalgo, y tiene su perihelio dentro de la órbita de Mercurio, y por tanto, es el asteroide que se aproxima más al Sol, a lo que hace alusión su nombre.

Trojanos. Un grupo curioso de asteroides son los llamados *trojanos*, porque sus nombres corresponden a héroes homéricos. Forman dos pequeños enjambres que circulan alrededor del Sol con la órbita de Júpiter; un grupo o enjambre precede al planeta y el otro le sigue a una distancia del planeta igual y tal que el triángulo, Sol, Júpiter y enjambre es equilátero.

Se han podido establecer con precisión las órbitas de gran número de asteroides; el último catálogo publicado

por los rusos, comprende cerca de 1.600, pero han sido observados muchos más, que no están catalogados por no haber sido calculada su órbita.

En esta interesante y callada labor han tomado parte, con éxito, astrónomos catalanes, que han trabajado en el Observatorio Fabra de esta ciudad. Fue su iniciador el célebre astrónomo barcelonés, Comas y Solá, descubridor de una docena de ellos que están registrados en el catálogo internacional; con el nombre de *Hispania* el primero que descubrió, y otro con el de *Barcelona*. Sus trabajos fueron continuados metódica y pacientemente por su sucesor en la dirección de dicho observatorio, el inolvidable maestro de esta Universidad, Dr. Polit, con sus colaboradores, los hoy jóvenes catedráticos universitarios y buenos amigos míos, doctores Codina y Orús, el primero de los cuales aún sigue trabajando con el nuevo director del observatorio, doctor Febrer, catedrático de Astronomía en nuestra Universidad y digno sucesor de aquellos activos astrónomos catalanes.

JÚPITER

Es el segundo planeta exterior, o sea, que su órbita es exterior a la de la Tierra. Describe una órbita elíptica poco excéntrica (0,04) y poco inclinada respecto a la eclíptica ($\simeq 1^\circ$), a la distancia media al Sol de unas 5 U. A. $\simeq 7.600$ millones de Km, con un período de revolución o «año» de unos 12 años, y uno de rotación sobre un eje o «día» de unas 10 horas. Su diámetro es 11 veces mayor que el de la Tierra y su masa 317 mayor y mayor que la del conjunto de todos los demás planetas. Júpiter es el planeta gigante del sistema solar, rodeado de una atmósfera muy gruesa, en el fondo de la cual se aprecian formaciones nubosas complicadas. Esta atmósfera nos reenvía la luz solar que la ilumina, después de haber absorbido parcialmente sus radiaciones. En el espectro de esta luz de Júpiter se aprecian claramente numerosas bandas de absorción, y por ellas se puede deducir que la atmósfera de Júpiter está formada fundamentalmente de hidrógeno, con una pequeña proporción de amoníaco y otra menor de metano, cuyas

bandas de absorción se aprecian claramente en el espectro, dado el gran espesor de la atmósfera del planeta. Las nubes de Júpiter son nubes de amoníaco sólido, muy finamente cristalizado. La temperatura de Júpiter es de unos 140°C bajo cero y por tanto no existe en su atmósfera vapor de agua en cantidad perceptible y si existe agua en la parte más interna del planeta estará en estado sólido.

Júpiter, como veremos Saturno, no está formado de piedras y metales, como la Tierra y los planetas antes descritos, sino que está formado, casi totalmente de hidrógeno (el 80 %) y probablemente tendrá un núcleo de hidrógeno sólido, rodeado por un océano de hidrógeno líquido y el conjunto recubierto por una gruesa atmósfera en la que predomina el hidrógeno gaseoso. Un dato curioso es que su composición química es semejante, como la de Saturno, a la del Sol, en que vimos que el componente predominante es el hidrógeno, lo que parece indicar que ambos planetas tienen un origen solar. Dada su constitución flúida y su rápida rotación presenta un pronunciado achatamiento polar.

Satélites. Júpiter está rodeado por doce satélites o lunas; ocho de ellas, las más próximas al planeta, tienen órbitas casi circulares y las recorren en sentido directo; son, pues, satélites «buenos». En cambio, los otros cuatro más exteriores son satélites «malos», pues revolucionan alrededor del planeta en sentido retrógrado. Cuatro de ellos, los mayores, son de tamaño comparable a nuestra Luna (Io, Europa, Ganimedes y Calixto); los restantes son de menor tamaño (diámetro entre 20 y 150 Km).

SATURNO

Es el planeta que sigue a Júpiter en orden creciente de su distancia al Sol. Describe una órbita elíptica de pequeña excentricidad (0,06), poco inclinada respecto a la eclíptica ($2,3^{\circ}$), con un período de revolución de unos 29 años y uno de rotación, poco mayor de 10 horas, y a la distancia media al Sol de 9,5 U. A. $\simeq$ 1.400 millones de Km. Su diámetro ecuatorial es unas 9 veces mayor que el de la Tierra y su masa unas 95.

Saturno, como vemos, es algo menor que Júpiter; mas, como él está esencialmente constituido de gas hidrógeno, formando una muy gruesa atmósfera en el fondo de la cual se mueven grandes nubes de amoníaco y metano, cuya presencia revela el análisis espectral, aunque en menor proporción aquél que éste. Dada la baja temperatura reinante en el planeta ($\simeq -155^{\circ}$ C) las nubes de amoníaco son de amoníaco cristalizado. Presenta también, como Júpiter, gran achatamiento polar y su densidad media es la menor de todos los planetas y es tan pequeña (0,7) que podría flotar en el agua.

Anillo. La característica más notable de Saturno es su famoso anillo, que le rodea en el plano ecuatorial y cuya existencia fue ignorada hasta el descubrimiento del telescopio. Se trata de varios, múltiples anillos concéntricos, formando a modo de una nube anular plana de un espesor no superior a 15 Km, con un diámetro exterior de 270.000 Km y otro interior de 147.000 Km.

El anillo de Saturno no está constituido por un sólido continuo, que sería dinámicamente inestable; lo más probable es que esté formado por un enjambre de pequeñas partículas que, como otras tantas diminutas lunas reflejan la luz solar. No se conoce con seguridad científica el origen de esta estructura insólita, llamativa y única en su género.

Satélites. Saturno tiene nueve satélites, todos ellos son «buenos», salvo el más exterior que es «malo» y gira en sentido retrógrado. El mayor de todos, Titán, es mayor que nuestra Luna y posee algo de atmósfera, y los dos más próximos, Mimas y Encélado, son de algo menor tamaño, pero por el gran albedo que presentan hace suponer que están recubiertos de nieve y dada su densidad, próxima a la del agua, es de creer que no son astros de consistencia mineral y rocosa.

URANO

Pertenece también al grupo de los planetas gigantes, pues su masa es unas 15 veces mayor que la de la Tierra; dista del Sol doble que Saturno (20 U. A. $\simeq$ 3.000 millo-

nes de kilómetros) y por tanto su temperatura será menor (unos 200° bajo cero).

Su constitución es intermedia entre la de los planetas gigantes anteriores y los planetas terrestres, pues Urano contiene menos hidrógeno que Júpiter y más elementos pesados; su atmósfera es rica en metano. Dada su baja temperatura el amoníaco que existe estará en estado sólido y por eso el análisis espectral no acusa su presencia en la atmósfera del planeta. Como los dos anteriores presenta un gran achatamiento polar por la fluidez de su atmósfera y su pequeño período de rotación (unas 11 horas).

La característica más notable de este planeta es la de que su eje polar o de rotación está acostado sobre el plano de su órbita, o sea, prácticamente, coincide con él. Debido a esta circunstancia, al revolucionar alrededor del Sol, con un período o «año» de unos 84 años, en cierta época, uno de los polos estará orientado exactamente hacia el Sol y el hemisferio correspondiente estará de día, en tanto que para el otro será de noche; 42 años después, sucederá lo contrario para cada uno de esos hemisferios.

Satélites. Urano tiene cinco satélites que revolucionan en su plano ecuatorial y por tanto en planos normales al de la órbita del planeta, en el mismo sentido que el de rotación del planeta, que es retrógrado (caso único) y por tanto el planeta y sus cinco satélites son «malos». Ni el planeta, ni con mayor razón los satélites, son visibles a simple vista.

NEPTUNO

Es el octavo de los planetas en orden de distancias crecientes al Sol, del cual dista unas 30 U. A. $\simeq$ 4.500 millones de Km, y alrededor del cual revoluciona con un período o «año» de unos 165 años, pareciéndose mucho a Urano, tanto en dimensiones como en constitución. Hasta la fecha sólo se han visto de este planeta dos satélites: uno «malo», Tritón (el más próximo al planeta), y el otro «bueno».

La nota más característica de este planeta es la referente a su descubrimiento, el cual fue hecho con el cálculo, antes que con el telescopio. Dos astrónomos, el francés Le Verrier y el inglés Adams, calcularon independientemente

el emplazamiento en el espacio del hipotético planeta causante de las perturbaciones observadas en el movimiento o mejor en la trayectoria de Urano. La observación confirmó plenamente la existencia del planeta, justamente en el sitio indicado por el cálculo.

PLUTÓN

Es el último de los planetas conocidos y fue descubierto fotográficamente en 1930. Su diámetro es de unos 6.000 Km, aproximadamente la mitad del terrestre y probablemente su constitución sea mineral. Está tan distante del Sol (unas 40 U. A. $\simeq$ 6.000 millones de Km) que desde él, el Sol aparecerá como una brillante estrella, por lo tanto sólo es visible con muy potentes telescopios, que dan una imagen sin detalles apreciables. La temperatura en él debe ser bajísima (unos 230° C bajo cero). Su órbita es tan fuertemente excéntrica (0,25) que penetra dentro de la órbita de Neptuno, teniendo lugar su perihelio en 1986. El período de su revolución o «año» es de unos 248 años.

Las características astronómicas más notables de este planeta, aparte la gran excentricidad de su órbita, es la fuerte inclinación de la misma (unos 17°) respecto a la eclíptica; por ellas podemos considerar a Plutón, también, como un planeta «malo». Posiblemente es un antiguo satélite de Neptuno, emancipado de él por la fuerte perturbación producida sobre él por Tritón, el otro gran satélite de Neptuno.

COMETAS

Más allá de la órbita de Plutón, en la región que pudiéramos llamar los «confines del sistema solar», se extiende una nube cuyo espesor algunos estiman en 3 A. L. (bordeando, por tanto, la región de las estrellas más próximas), compuesta de fragmentos materiales, que algunos suponen del orden del billón, con una masa total menor de una décima de la masa terrestre y controlados por la gravitación solar y, por tanto, girando la nube como un total alrededor del Sol, en órbita casi circular. Debido a la ac-

ción perturbadora que sobre los componentes de esa nube ejercen, no solamente el Sol, sino también los otros componentes (planetas, estrellas próximas u otros agentes desconocidos), algunos de esos componentes es desviado de su trayectoria secular y obligado, emancipado de la familia, a convertirse en un ente independiente con trayectoria propia alrededor del Sol, de cuya tutela no puede escapar, convirtiéndose en un *cometa*.

Los cometas son conocidos desde la más remota antigüedad y su aparición provocó en los pueblos primitivos reacciones supersticiosas de lo más diverso y pintoresco. Antes de la invención del anteojo astronómico (1609) sólo fueron registrados unos 400, los visibles a simple vista. Actualmente hay registrados unos 1.600, algunos de ellos han pasado varias veces, o sea que son cometas *periódicos*. Se conocen unos 40 de ese tipo, entre ellos el descubierto por nuestro compatriota Comas y Solá, que está registrado internacionalmente con su nombre, ya que es costumbre astronómica «bautizar» a los cometas con el nombre de su descubridor, a diferencia de los asteroides, cuyo nombre es el elegido para ellos por su descubridor.

Los cometas tienen un movimiento muy diferente al de los planetas; la órbita elíptica de los cometas es muy alargada (gran excentricidad) y su inclinación, respecto a la eclíptica, totalmente arbitraria. Los cometas, en algunos casos, vienen de regiones muy lejanas (varias centenas de U. A.), se acercan progresivamente al Sol, lo contornean a corta distancia (0,1 U. A.) y se alejan progresivamente hacia la región de procedencia, hundiéndose en los abismos espaciales, unos para no volver jamás y otros para volver periódicamente, esclavos del Sol, a realizar su aparición ante el cielo terrestre.

En tanto que un cometa está lejos del Sol, es débilmente luminoso, no diferenciándose en su aspecto a una estrella; mas a medida que se aproxima al Sol va tomando el aspecto característico y espectacular que a todos nos es familiar, bien por grabados, o bien por contemplación directa. Los viejos como yo, recordamos el aspecto fantástico del *cometa Halley*, cometa periódico, cuyo período, calculado por Halley, es de 76 años, que hizo su última

aparición en 1910 y volverá a aparecer en 1986. Su apogeo se encuentra más allá de la órbita de Neptuno y pasó por él en 1948. Es el único cometa visible a simple vista cuyo período sea menor de 100 años, y por ello se tienen datos de su observación en épocas anteriores; la más antigua, en el año 240 antes de nuestra era, y la última en 1910. Es el único cometa «malo» conocido.

Todos los jóvenes que me escucháis podréis contemplarle y todos contemplaríais recientemente, en 1957, el aspecto, no tan fantástico como el de Halley, del cometa Arend-Roland

En el mismo año 1910 hizo su aparición otro cometa, aún más espectacular que el de Halley, conocido como Cometa 1910.

Un cometa se compone de un núcleo sólido formado por un aglomerado de sustancias diversas formadas en las regiones frías interestelares, llamado cabeza y cuya masa puede ser del orden de los mil millones de toneladas, masa pequeñísima comparada con la de la Tierra. Al acercarse al Sol, parte de esos materiales se gasifican y los gases rodeando el núcleo forman lo que se llama la *cabellera*; al aproximarse más al Sol, las partículas gaseosas de esa cabellera, bajo la acción de la presión de la radiación solar, son empujadas hacia la parte opuesta al Sol, formando la *cola*; la cual, iluminada por la luz solar, se nos hace bien visible, no obstante el gran enrarecimiento en que se encuentra ese material gasificado que las forma. La cola desaparece a medida que el cometa se aleja del Sol. Algunas colas de cometas ocupan extensiones enormes. La cola de un cometa que apareció en 1843 tenía una longitud de 320 millones de Km, algo más que el diámetro de la órbita terrestre. A veces, una cola anormal aparece dirigida hacia el Sol, como sucedió con el cometa Arend-Roland, en abril de 1957.

El análisis espectroscópico de la luz de un cometa indica la presencia del carbono, cianógeno, metano y otros compuestos gaseosos, así como de radicales, inestables a temperatura ordinaria, pero estables a las bajísimas temperaturas de su formación. Por ello al aproximarse el cometa al Sol y aumentar la temperatura, esos radicales li-

bres, entremezclados con las otras sustancias estables, reaccionan, a veces con violencia, siendo las causantes de las explosiones observadas en algunos cometas y que pueden dar lugar a la disgregación de todo el material de los mismos. La observación ha demostrado que las explosiones en los cometas se producen en el momento de las erupciones solares. Las partículas rápidas emitidas por el Sol, al chocar contra la superficie del núcleo del cometa excitan las moléculas activas, desencadenando la explosión.

METEORITOS

Los meteoritos son porciones de materia sólida que penetra en la atmósfera terrestre con una velocidad muy grande, consumiéndose en ella, por incandescencia o evaporación, total o parcialmente, antes de alcanzar el suelo. El fenómeno luminoso asociado al paso del meteorito por la atmósfera se llama *meteoro* o, más comúnmente, *estrella fugaz*. Los meteoritos muy luminosos se llaman *bólid*os.

La caída de un meteorito va acompañada algunas veces de explosiones y ruidos parecidos al del trueno lejano. El peso o tamaño de ellos es muy variable. Los meteoritos de gran peso, afortunadamente, son muy poco frecuentes: uno cada 30 años, los de 50 toneladas, y uno cada 40.000 años, los de más de 200 toneladas. Uno colosal fue el que cayó hace millares de años en el desierto de Arizona (Estados Unidos), dejando la huella, aún bien visible, de un gran «cráter» de 1.200 metros de diámetro, 180 de profundidad y 40 metros el reborde del hueco respecto a la llanura circundante. Entre los más modernos están los caídos en Siberia: uno en 1908 y otro, reciente, en 1947. El primero devastó el suelo en una extensión de 30 Km a la redonda. Piedras meteoríticas de tamaños menores se encuentran con frecuencia y están muchas coleccionadas en todos los museos de Ciencias Naturales.

Los meteoritos más frecuentes están formados por partículas sólidas minúsculas de pocos miligramos y que son las causantes de todas las estrellas fugaces y de las «lluvias de estrellas». Su luminosidad es debida a la ionización por choque de las moléculas del aire que produce su paso

a través de las altas capas atmosféricas y a su incandescencia, por el rozamiento contra ellas y a la ionización de sus propios átomos arrancados del mismo por el rozamiento contra el aire. Esta estela iónica del meteorito es la que se utiliza para detectarlos y registrarlos por ecos radáricos en pleno día. La luminosidad está relacionada con el tamaño; un meteoro de 6ª magnitud (límite de visibilidad de una estrella a simple vista) es producido por una partícula o meteorito de 0,2 mg y uno de 1.ª por una de 20 m.

Una estrella fugaz de magnitud 2, a la distancia de 100 Km, es producida por una partícula de 5 mm de diámetro y de peso unos 0,3 gm; los bólidos son producidos por partículas de 1 a 10 cm de diámetro y hasta mayores.

Muchos meteoros no son visibles a simple vista y su número es tanto mayor cuanto menor es su tamaño. Se estima que el número de meteoros visibles a simple vista durante un día es de unos 25 millones; de ellos, unos 300.000 de 1ª magnitud. La Tierra recibe aproximadamente 5 toneladas diarias de materia cósmica meteorítica, o sea unas 2.000 toneladas. por año; no obstante, el depósito que se formaría en el suelo terrestre, supuesta la distribución uniforme sobre la superficie terrestre, no llegaría a 1 cm durante 5.000 millones de años.

Los meteoros tienen lugar, por regla general, a una altura en la atmósfera de unos 120 Km y se apagan o extinguen a unos 80 Km. Se han registrado meteoros a alturas del orden de 200 Km.

Los meteoritos son los únicos objetos astronómicos o extraterrestres que llegan a nosotros y que podemos tocar y examinar a nuestro antojo. En su análisis no se han encontrado cuerpos desconocidos en la Tierra; mas se ha observado la abundancia en ellos de los silicatos en unos (pedregosos); mezclas de hierro-níquel, casi puro, en otros (ferrosos) y materiales variados en otros (mixtos). Los elementos químicos se encuentran presentes, aproximadamente, en la misma proporción que en la corteza terrestre, resultado favorable a la hipótesis de un origen común a los planetas y meteoritos.

El método radioactivo aplicado a estos cuerpos ha dado

resultados variables entre 80 millones y 7.000 millones de años como fecha de su formación.

Los meteoritos se desplazan en el espacio formando grupos o enjambres, y los meteoros que producen aquellos que penetran en la atmósfera, se reproducen periódicamente de año en año, siendo más numerosos en ciertas épocas del año. Esto hace suponer que todos ellos forman una nube que en conjunto describe una órbita alrededor del Sol, la cual es cortada por la órbita terrestre. Cuando la Tierra y los meteoritos se encuentran en o próximos al lugar de intersección de estas dos órbitas, se observará una verdadera «lluvia de estrellas» por la abundancia de estrellas fugaces que se producen. Si las partículas meteoríticas están repartidas uniformemente sobre la nube meteorítica, el enjambre y la consiguiente lluvia de estrellas aparecerá normalmente a fecha fija. Algunos de estos enjambres pertenecen a cometas desintegrados y desaparecidos como tales cometas y dichos enjambres se mueven siguiendo la órbita del cometa primitivo.

Cuando una lluvia de estrellas se produce parece (como efecto de proyección óptica) que todas ellas salen o parten de una pequeña región de la bóveda celeste que se encuentra en una determinada constelación, la cual da nombre a los meteoros observados; así, son bien conocidas las lluvias de estrellas siguientes producidas por restos de cometas: *Draconidas* (del 28 de junio), proyectadas sobre la constelación del Dragón y debidas a los restos del cometa Pons-Winnecke; *Perseidas* (del 11 de agosto), proyectadas sobre la constelación de Perseo y originadas por los restos del cometa 1862 III; las *Giacobínidas* (del 9 de octubre), originadas por los restos del cometa Giacobini-Zinner y proyectadas, también, sobre la constelación del Dragón; etc. De estas últimas, en 1933 se observaron 20.000 en una noche y sólo 1.000 en 1946. A este conteo, como a otras muchas tareas de observación astronómica, han contribuido eficazmente ese enjambre de aficionados a la Astronomía que existe repartido por el mundo civilizado, y que en esta región catalana abundan tanto como los «rovellons». Ellos forman el numeroso público que asiste a las frecuentes conferencias que organiza la prestigiosa entidad no oficial

1

barcelonesa SOCIEDAD ASTRONÓMICA DE ESPAÑA Y AMÉRICA, fundadora de la prestigiosa revista científica especializada *Urania*, con su boletín mensual de información, así como los que con su entusiasmo dan calor a la sociedad de aficionados ASTER y vida a su interesante y amena revista de divulgación *Aster*, y también a su mensual boletín informativo, costeadas ambas publicaciones por los mismos socios y sin protección oficial, que sepamos. Para todos ellos mi felicitación y para su labor callada, tenaz y eficaz, mi modesta y entusiasta admiración.

CUARTA ETAPA: LAS ESTRELLAS

GENERALIDADES

A todos nos es familiar el grandioso espectáculo que podemos contemplar al mirar al cielo en una noche clara, sin luna, y ver como colgadas en la que llamamos bóveda celeste, infinidad de luminarias. Una atenta y continuada observación de ellas nos hace ver que la inmensa mayoría permanecen fijas en sus posiciones relativas: son las *estrellas*, mientras que otras se desplazan, en el curso de los meses, relativamente respecto a las que las rodean: son las luminarias errantes o *planetas*, los cuales se distinguen en la observación momentánea de las estrellas, porque su luz es fija e invariable, en tanto que la de aquéllas es vivaz y cambiante, fenómeno este conocido con el nombre vulgar y clásico de «parpadeo de las estrellas». El que por la situación aparente de los planetas y las estrellas nos parezca que todos ellos están sobre la superficie esférica de la bóveda celeste y, por tanto, que están a igual distancia de la Tierra, no es más que una ilusión óptica. Ya sabemos que los planetas están a distancias de la Tierra muy diferentes y variables con el tiempo la de cada uno de ellos. Pues bien, las estrellas, llamadas también *estrellas fijas*, están a distancias muchísimo mayores que los planetas, y variables entre sí en cantidades enormes. La distancia del Sol al planeta más lejano es, según indicamos, de 40 U. A., o sea unos 320 minutos-luz, o bien 5 h 2 m-luz; en tanto que la distancia a la estrella más próxima a él, la llamada *Próxima Centauri*, es de unos ¡¡40 billones de kilómetros!! equivalentes a unos cuatro años-luz. Éste es, pues, el tiempo que tardaría nues-

tro viajero luminoso en cubrir esta 4.^a etapa con la que se acercaría a la primera estrella del mundo estelar que nos rodea.

Para hacernos idea a nuestra escala terrestre de lo que significan estas distancias colosales, diremos que, si imaginamos el Sol como una esferita de un centímetro de radio, la Tierra se representaría por una esferita casi imperceptible, de 0,2 mm de diámetro, a la distancia de dos metros; Plutón por otra esferita semejante, a la distancia de 80 metros, y la *Próxima Centauri* se encontraría a la distancia de ¡¡quinientos veinte kilómetros!! Esta representación nos da idea también del gran vacío espacial interestelar.

Con el fin de completar el cuadro visual de la bóveda celeste, diremos que sobre ésta aparece como una nube o «mancha lechosa», la llamada *Vía Láctea*, o *Camino de Santiago*, que la cruza en la dirección de un círculo máximo polar, con posición fija sobre el cielo. La mayor parte de ella es visible desde nuestra latitud; mas la parte extrema inferior sólo es visible desde el hemisferio austral y de ella parecen desprendidas otras dos manchas análogas, las llamadas *Nubes de Magallanes*; una mayor, *La Gran Nube*, y otra más pequeña, la *Pequeña Nube*. La observación con un anteojo de estas nubes, así como la de la *Vía Láctea*, nos hace ver que están formadas por una multitud de estrellas débiles que no son visibles a simple vista.

Vamos a reseñar a continuación, con la brevedad obligada por la extensión del proyecto, algunas generalidades y particularidades del universo estelar o macrocosmos, que podría observar nuestro viajero ideal.

CONSTELACIONES

Observando desde la Tierra la bóveda celeste, vemos que no todas las estrellas brillan con igual intensidad y que ciertas estrellas, más brillantes que las otras, dibujan figuras que agrupan cierto número de estrellas y que reciben el nombre de *constelaciones*. La división del cielo en constelaciones se remonta a la más alta antigüedad y muchos de los nombres dados a ellas por los egipcios y los griegos se conservan en la actualidad, respondiendo, mu-

chas veces, a seres fantásticos o mitológicos (*Osa, Casiopea, Andrómeda, Orión*, etc.); otras veces los nombres son más modernos y responden a la forma geométrica de la constelación (*Triángulo, Cruz del Sur, Microscopio*, etc.). La división del cielo en constelaciones fue utilizada en la antigüedad por los astrónomos de aquellos días y aun en la actualidad por los campesinos y algunos navegantes para orientarse en el espacio (situación) y en el tiempo (hora del día y época del año o estación). Los astrónomos han conservado esta división del cielo al formar los catálogos de estrellas. La antigua limitación de la región de cada constelación era irregular y arbitraria. La Unión Astronómica Internacional ha establecido una limitación precisa, por medio de arcos de meridianos y paralelos, de 88 sectores celestes; ha publicado el atlas estelar correspondiente y establecido el simbolismo para indicar cada sector, y en cada uno de ellos la estrella u objeto celeste que en él se encuentre. A la estrella más brillante de cada sector o constelación se la asigna la letra griega α y a las siguientes por orden de luminosidad decreciente, las letras griegas siguientes. Algunas de las estrellas más brillantes del cielo (unas 50) tienen nombre especial, bien de origen griego, como *Procyon* (α del Can menor); latino, como *Regulus* (α , del León), o árabe, como *Rigel* (β de Orión). Cuando varias estrellas son sensiblemente de igual brillo en una constelación, se las asigna la letra griega correspondiente por orden alfabético, comenzando por la «cabeza» de la figura representativa. Éste es el caso de las seis principales estrellas de la Osa Mayor.

El Sol, en su movimiento aparente sobre la bóveda celeste de Oeste a Este, durante el año pasa por las doce constelaciones que forman el llamado *Zoodíaco*, o zona de la bóveda celeste que se extiende varios grados a un lado y otro de la eclíptica, ya conocida por los antiguos babilonios. Cada una de ellas tiene 30° y un signo representativo; cada mes, el Sol se encuentra en una de ellas.

Los puntos en que la eclíptica corta al ecuador celeste son los llamados *puntos equinocciales*: uno de ellos es el llamado *punto vernal* o *punto Aries*; el Sol pasa por él hacia el 21 de marzo (*equinoccio de Primavera*); el otro,

diametralmente opuesto es el *punto Libra*, por el que pasa el Sol hacia el 21 de septiembre (*equinoccio de Otoño*). Debido al movimiento de precesión terrestre, estos puntos equinocciales no son fijos sobre la esfera celeste, sino que se desplazan sobre el ecuador en sentido retrógrado a razón de 50" por año. Este desplazamiento de los puntos equinocciales es llamado *precesión de los equinoccios* y fue descubierto por el célebre astrónomo griego Hiparco. Hace unos 2.000 años el Sol entraba en la *constelación de Aries* en la época del equinoccio de Primavera; mas, después, el punto vernal, al que se le sigue representando por el *signo de Aries*, ha retrogradado y actualmente se encuentra sobre la *constelación de los Peces*. Así, pues, en la actualidad no coinciden el signo correspondiente al mes solar y la constelación sobre la que se proyecta el Sol; hay un corrimiento o desplazamiento que irá en aumento con el tiempo y la coincidencia no volverá a establecerse hasta dentro de 26.000 años, que es el período de la precesión terrestre.

MOVIMIENTO DE LAS ESTRELLAS

a) *Movimiento aparente*. Debido a la rotación terrestre toda la bóveda celeste parece girar uniformemente alrededor de un eje imaginario, prolongación del eje de rotación terrestre, y en sentido de Este a Oeste. Cada estrella tendrá este movimiento aparente y describirá un círculo paralelo al círculo máximo o ecuador celeste, coplanario éste con el ecuador terrestre. Para algunas de estas estrellas su círculo aparente corta al horizonte del lugar de la observación y entonces la estrella sale por el Este y se oculta por el Oeste; para otras, dicho círculo permanece sobre el horizonte y la estrella no se oculta (*estrellas circumpolares*); por último, para ciertas estrellas dicho círculo cae debajo del horizonte y son invisibles para el observador. Para nuestra latitud son circumpolares las constelaciones de las *Osas* (mayor y menor), *Casiopea*, *Aguila*, *Cisne*, etc.), y son invisibles las de la *Cruz del Sur*, *Carena*, *Pez Volante*, etc.). La estrella más próxima al punto de la bóveda celeste, en el hemisferio Norte, en

el que la corta el eje imaginario de rotación de la misma, o *polo Norte celeste*, es la llamada *Estrella Polar*, que ahora es la estrella α de la *Osa Menor*, pero que debido al movimiento de precesión de la Tierra, cambiará con el transcurso del tiempo. En la actualidad su distancia angular al polo es de $1.^{\circ}$ y alcanzará el mínimo de $28'$ el año 2102. Hacia el año 2800 a. de J. fue polar la estrella α del Dragón y la brillante estrella *Vega* (α de la Lira) casi lo será hacia el año 14000, en que distará del Polo unos 4° .

b) *Movimiento propio*. El astrónomo Halley descubrió, al comparar sus datos de observaciones de la posición de algunas estrellas con las que poseía de su antecesor Ptolomeo, que estas estrellas se habían desplazado en la bóveda celeste, algunas de ellas cerca de un grado. Observaciones posteriores confirmaron que todas las estrellas se mueven en el cielo. Si una estrella se desplaza hacia otra, no observamos más que el desplazamiento proyectado sobre la esfera celeste y este desplazamiento es el llamado movimiento propio de la estrella. Para evitar el efecto de desplazamiento de la estrella debido al movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol, estos movimientos propios se refieren al Sol. Los mayores movimientos propios registrados corresponden a las estrellas más próximas al Sol siendo excepcional el de la estrella de Bernard, cuya distancia al Sol es de unos 6 años-luz: su movimiento propio es de unos $10''$ por año, de modo que en 180 años la estrella se desplaza sobre la esfera celeste un ángulo igual al diámetro aparente de la Luna. Si todas las estrellas tuviesen un desplazamiento semejante y al azar, la forma de las constelaciones se modificaría apreciablemente en la vida de un hombre. Tal no es el caso; no pasan de 50 las estrellas para las cuales el movimiento propio es superior a $2''$ por año y de 1.200 aquellas para las que es superior a $0.5''$ por año, y para la mayor parte de las visibles a simple vista no alcanza $0,1''$ por año.

c) *Velocidad radial: efecto Doppler*. Se llama *efecto Doppler* al fenómeno físico observado cuando un foco emisor de ondas se acerca o se aleja de un observador. Cuando el foco se aproxima, el observador recibirá ondas de una longitud de onda menor que la que tenían cuando

estaba fijo; ello equivale a recibirlas con una frecuencia mayor; lo contrario sucederá si el foco se aleja del observador. Asimismo, si el foco está fijo y es el observador el que se acerca al foco, recibirá por segundo más ondas que las que emite el foco, o sea las percibirá con mayor frecuencia; lo contrario sucederá si el observador se aleja. Si el foco es sonoro (silbato de tren, timbre de ciclista, etcétera) cuando se acerca al observador, éste percibe un sonido más agudo que cuando está quieto aquél; viceversa, si el foco se aleja el sonido percibido es más grave. Al pasar frente al observador éste percibe claramente el «salto» de tono. Un fenómeno semejante se produce cuando el foco emisor es luminoso: si un foco luminoso (por ejemplo una estrella) se aproxima al observador, las rayas de su espectro se desplazan hacia el violeta (grandes frecuencias); al contrario, si se aleja, el desplazamiento de las rayas es hacia el rojo (pequeñas frecuencias). De la medida de este desplazamiento espectral se puede deducir la velocidad de alejamiento o acercamiento del foco luminoso en la dirección foco observador (*velocidad radial*). Si una estrella tiene una velocidad radial de 100 Km por segundo, dicho desplazamiento vale 0,6 Å para la longitud de onda de 5.000 Å. El efecto Doppler permite medir, no solamente la velocidad radial de las estrellas, sino también la velocidad de rotación de pares estelares, así como la de otros astros (Sol, planetas, nebulosas, etc.).

d) *Velocidad real*. Del movimiento propio anual de una estrella y de su distancia se puede deducir su velocidad tangencial. Por el desplazamiento que presentan las líneas de su espectro, debido al efecto Doppler, se deduce su velocidad radial, o sea en la dirección de la visual del observador, y por composición de estas dos velocidades se deduce la velocidad real de la estrella en el espacio que para la mayoría de ellas es del orden de unos 50 kilómetros por segundo, siendo excepcional el de otras, como la de *Arturo* (α del Boyero), que es de 135 Km/s, o sea de 486.000 Km/h. El Sol también se desplaza, respecto a las estrellas próximas a él, con una velocidad de 20 Km/s, o sea de 72.000 Km/h, hacia un punto del cielo llamado *apex*, el cual se encuentra próximo, como ya dijimos, a la

estrella *Vega* (α de la Lira); el punto diametralmente opuesto de la esfera celeste es el *antiapex*, no lejos de la estrella *Sirio* (α del Can Mayor). El análisis de los movimientos propios de las estrellas prueba que, en conjunto, divergen de un punto de la bóveda celeste (*apex*) y convergen en el punto opuesto (*antiapex*), efecto éste fácil de comprender por el desplazamiento del Sol hacia el apex. Aun con ser tan grande esta velocidad de desplazamiento del Sol en el espacio, arrastrando con él todo el sistema solar, para recorrer una distancia de un año-luz necesitará ¡16.000 años!

c) *Movimiento de rotación*. La rotación de ciertas estrellas puede ponerse en evidencia por el efecto Doppler de sus rayas espectrales, siempre que el eje de rotación no coincida con la dirección visual de la misma.

MAGNITUDES ESTELARES

Se define como *magnitud aparente* de una estrella un número que expresa su brillo. Los antiguos clasificaron las estrellas, según su brillo, en seis magnitudes: de 1.^a magnitud son las más brillantes y de 6.^a las más débiles. Posteriormente, esta escala de magnitudes se ha amplificado y perfeccionado. El brillo aparente de una estrella depende, no solamente de su luminosidad, sino también de su distancia al observador. Para eliminar este efecto de distancia se considera la magnitud absoluta.

Admitiendo que la intensidad de la radiación que recibimos de una estrella tipo de 1.^a magnitud es 100 veces mayor que la de una de magnitud 6.^a tipo, resulta que varias estrellas son más brillantes que la magnitud 1.^a. Así, por ejemplo, la *Cabra* es de magnitud 0,2 y *Sirio* de magnitud -1,6. Con esta escala de medidas, la magnitud de *Venus* en su máximo brillo es de -4,4; la de la *Luna* llena -12, y la del *Sol* -27 (aprox.). Los anteojos más potentes nos permiten ver estrellas de magnitud 19 y con el telescopio de 5 metros de *Monte Palomar* se pueden fotografiar estrellas de magnitud 22.

Se define como *magnitud absoluta* de una estrella la magnitud que tendría la estrella si estuviera situada a la

distancia de 10 parsecs. Así como la anterior mide el brillo aparente, ésta mide el brillo intrínseco.

Si la magnitud aparente y la distancia de una estrella son conocidas, una fórmula sencilla da su magnitud absoluta. La magnitud absoluta del Sol es de 5. Las estrellas más brillantes llegan a alcanzar la magnitud -9 , siendo unas 500.000 veces más luminosas que nuestro Sol, y las menos luminosas, de magnitud $+18$, unas 200.000 veces menos luminosas que él.

DISTANCIA

La distancia a que se encuentran de nosotros las estrellas varía entre límites amplísimos, no siendo, en general, las más brillantes las más próximas, pues si bien *Sirio*, la estrella más brillante del cielo y la más próxima a la Tierra de las visibles a simple vista desde nuestro hemisferio, está a la distancia de unos 8 años-luz, otras como *Antares* (α del Escorpión) está a 400 años-luz; *Beltegeuse* (α de Orión), a 650, y *Denez* (α del Cisne), a 900 años-luz. Se han podido fotografiar estrellas cuya distancia se mide por millones de años-luz, como las Cefeidas de las nebulosas extragalácticas.

ESPECTRO

Las estrellas son a modo de inmensos globos gaseosos, luminosos por sí mismos como el Sol, y como para él, el espectro de la luz que emiten es un espectro de absorción característico de su composición superficial, o sea que la estrella está rodeada de una a modo de atmósfera, más fría que la parte más interior.

Del examen espectroscópico de la luz recibida de las diversas estrellas se han podido clasificar éstas en diversos tipos espectrales, habiéndose podido comprobar que el tipo o clase espectral de una estrella depende esencialmente de su temperatura superficial. El astrónomo italiano Secchi, el siglo pasado, clasificó las estrellas en cuatro grupos según el color: *estrellas blancas* (*Sirio*, *Vega*, *Rigel*); *estrellas amarillas* (*Cabra*, *Sol*); *estrellas naranjadas*

(Aldebarán), y *estrellas rojas* (Antares, Beltegeuse). Actualmente, casi todas las estrellas catalogadas se clasifican en seis tipos fundamentales, que se designan en orden decreciente de temperatura superficial, por las letras: B (estrellas azules, de temperatura superficial 30.000°C ; por ejemplo Rigel); A (estrellas blancas, de unos 20.000°C ; por ejemplo Sirio y Vega); F (estrellas blancoamarillentas; 10.000°C ; por ejemplo Proción); G (estrellas amarillas; 6.000°C ; por ejemplo el Sol); K (amarillo-anaranjado; 4.000°C ; por ejemplo Arcturo); M (estrellas rojas; 3.000°C ; por ejemplo Antares).

Dos resultados importantes se deducen del estudio espectral de las estrellas: uno es que no se encuentran en ellas más que los elementos conocidos en la Tierra, y el otro, que el hidrógeno es el elemento más abundante, con mucho, en todas ellas. Por el momento, no hay razón para creer que la composición de las estrellas varíe notablemente de unas a otras y, por tanto, será muy semejante a la del Sol.

DIAGRAMA DE HERTZSPRUNG-RUSSELL

Tomando como coordenadas de una estrella su tipo espectral como abscisa y la magnitud absoluta como ordenada, se obtiene el llamado *diagrama de Hertzsprung-Russell*, en el cual cada estrella está representada por un punto, y casi todos los puntos representativos están sobre una banda que corta el diagrama en diagonal, y constituye lo que se llama *serie principal*, en la cual el punto representativo del Sol está hacia la mitad. Por el diagrama puede comprobarse que las estrellas más calientes, las azules y blancas, son también las más luminosas, y que las más frías, las rojas, tienen la menor luminosidad. Existe en el diagrama una rama a través de la serie principal en la que figuran las llamadas estrellas gigantes, pertenecientes a los tipos G (amarillas) y M (rojas), que, no obstante, tienen una gran luminosidad; por ejemplo, la Cabra y Arcturo; y otras, supergigantes, como Beltegeuse y Antares. Existe también otra rama transversal, o, mejor, «rincón aparte», en el diagrama, a la que pertenecen las estrellas blancas de peque-

ña luminosidad, como son las llamadas enanas blancas; por ejemplo el compañero de Sirio.

Este diagrama es de gran valor estadístico para el estudio de la evolución de las estrellas, desde su formación hasta su final, así como para el cálculo de distancias estelares, en combinación con otro diagrama análogo en el que como ordenadas se toman las magnitudes aparentes.

MASA

Del estudio teórico-experimental de la órbita de las llamadas estrellas dobles se puede deducir la masa de los componentes. Del examen de los resultados obtenidos en el estudio de unas 500 de ellas, Eddington dedujo la notable propiedad de que *la magnitud absoluta de las estrellas varía regularmente en función de su masa*. Resulta, pues, que la relación entre la masa y la luminosidad de una estrella es prácticamente independiente de la temperatura o el espectro de la estrella. Así, pues, cuando dos estrellas tienen la misma intensidad luminosa, tienen sensiblemente la misma masa aunque sean de tipo espectral diferente. Admitiendo que esta relación es aplicable para todas las estrellas, a excepción de las enanas blancas, se puede deducir la masa de las estrellas. El resultado de esta generalización es que *la gran mayoría de las estrellas tienen una masa del mismo orden de magnitud que el Sol: entre 1/5 y 5 veces la masa del Sol*. Las estrellas supergigantes, que tienen un gran volumen, tendrán una densidad muy pequeña, siendo ésta, en el caso de Antares, 20.000 veces más pequeña que la densidad del aire, lo cual supone un gran vacío. Lo contrario sucederá con las llamadas enanas blancas, en algunas de las cuales la densidad alcanza valores de 100.000 veces la densidad del agua, o sea que un centímetro cúbico de ellas tiene una masa de 100 kilos. Mas estas estrellas no obedecen a la relación entre masa y luminosidad.

PARTICULARIDADES

Si llevado de la curiosidad nuestro viajero luminoso se acercara a cada una de las individualidades de esta región estelar podría apreciar las siguientes más notables particularidades :

ESTRELLAS SOLITARIAS

Muchísimas de las estrellas son, a la manera de nuestro Sol, estrellas solitarias y estacionarias, que podrán, como él, tener un cortejo planetario de astros muertos, pero sin relación directa con otras estrellas. En alguna de ellas se ha probado la existencia de «compañeros» no luminosos, gravitando a su alrededor, llamados planetas. Estas estrellas tienen vida propia, y su actividad es muy semejante a la del Sol; la deben a las reacciones nucleares que se producen en su interior.

ESTRELLAS DOBLES

Así se llaman, y también *estrellas binarias*, aquellas estrellas que, vistas con un potente antejo, aparecen como dos estrellas muy próximas. Cuando dos estrellas, muy distantes entre sí, por casualidad se las ve casi en la misma dirección, se dice que son parejas ópticas o *dobles ópticas*, sin relación física entre ellas. Por el contrario, existen otras parejas en las que los astros están físicamente asociados y son las llamadas *dobles físicas*; el conjunto forma un sistema dinámico, único, y cada una de ellas revoluciona alrededor del centro de gravedad del sistema. Existen sistemas análogos formados por tres, cuatro o más estrellas.

Según el método de observación empleado, se las clasifica en :

a) *Dobles visuales*, cuando las componentes están lo suficientemente próximas a nosotros, o distantes entre sí, que pueden ser vistas separadas en un antejo y con él poder seguir sus movimientos. Si son de diferente magni-

tud, en este caso a la estrella más brillante se la distingue con la letra A y la otra con la B. Así, por ejemplo, Sirio es una estrella doble, formada por una estrella principal, Sirio A, y otra, que es una enana blanca, Sirio B, conocida corrientemente como el «compañón» de Sirio. Mizar, la estrella del medio de la cola de la Osa Mayor, fue la primera doble física descubierta. Hoy, son muchas las conocidas y catalogadas. La *Polar* es una estrella doble, con magnitud 2,1 la principal y 9 el «compañón» o mejor «compañero» para evitar el usual galicismo.

b) *Dobles espectroscópicas*. Son aquellas cuyas componentes no pueden verse separadas con un anteojó y sólo puede ponerse en evidencia su existencia por la oscilación periódica que experimentan las rayas de su espectro debido al efecto Doppler, pudiéndose medir la velocidad radial de las dos componentes (y el período de rotación del sistema), siempre, claro es, que el plano orbital del sistema no sea normal a la dirección de la visual.

c) *Dobles fotométricas*. Son aquellas en las que el plano orbital del sistema coincide con la dirección de la visual. En este caso el conjunto constituye una estrella variable de intensidad, ya que una de las componentes puede eclipsar a la otra. Por esto también se las denomina *dobles eclipsantes*. Todas las estrellas dobles son eclipsantes para todos los puntos del espacio situados en su plano orbital.

Algol (β Perseo) es una doble eclipsante notable: durante 60 horas su brillo permanece constante; después, en cinco horas, decae a una tercera parte, y durante las 5 horas siguientes adquiere el brillo normal; la duración del eclipse es, pues, de 10 horas. Las cosas suceden así porque una de las componentes es mucho más brillante que la otra; la curva de brillo da un mínimo profundo o principal y otro pequeño, secundario, cuando la principal oculta a la secundaria.

Cuando las dos componentes tienen igual brillo, los dos mínimos son igualmente intensos. La forma de las curvas de luminosidad permite determinar los elementos de las órbitas y las dimensiones de las componentes.

Los períodos de las dobles eclipsantes rara vez pasan de 10 días; dos casos extremos son: el de una doble de la

Osa Mayor, cuyo período es de 8 horas, y el de otra del Cochero, que es de 23 años y su eclipse dura 2 años.

ESTRELLAS VARIABLES

Son las estrellas más curiosas y enigmáticas del mundo estelar; su brillo varía con el tiempo, generalmente, de un modo periódico. Actualmente se conocen más de 15.000 estrellas variables y su número aumenta continuamente; el 3 % de las estrellas visibles a simple vista son variables. La característica física principal es su curva de luz, de la que se deduce el período de sus variaciones. Existen varios tipos de ellas:

a) *Variables eclipsantes*. Son estrellas dobles eclipsantes aquellas cuya variación de brillo se debe a los eclipses mutuos entre las componentes, por ejemplo Algol, como ya vimos.

b) *Variables pulsantes*. Son estrellas en las que la variación de brillo se debe a que la estrella se dilata y se comprime regularmente en unas (*cefeidas*), semirregularmente en otras e irregularmente en otras. El origen de estas variaciones, que antes era un enigma, hoy se ha encontrado en el tipo de reacciones nucleares que tienen lugar en el interior de la estrella; aunque siga siendo un enigma, por hoy, el proceso nuclear que lo origina.

Entre las variables periódicas se forman tres grupos, según su período sea de unos 280 días (*período largo*), una semana (*período corto*) y medio día (*período pequeño*).

Una estrella pulsante periódica típica de largo período es *Mira* (la Maravillosa) o *Mira Ceti*, ya conocida desde la antigüedad por esta notable particularidad. Es una estrella gigante, roja, cuya temperatura superficial oscila entre 2.600°K en los máximos, a 1.900°K en los mínimos. Su magnitud en los máximos es de 2 a 4 y en los mínimos de 8 a 10 (invisible a simple vista). Su período es largo: vale entre 320 y 370 días. La estrella sufre pulsaciones, siendo su tamaño mayor en los máximos y menor en los mínimos. Por otro lado es estrella de baja temperatura superficial, que al descender aún más en los mínimos da

lugar a la formación superficial de espesas capas de TiO_2 , muy absorbentes. La distancia a la que se encuentra de nosotros es de unos 200 A. L., y su diámetro medio, unos 400 veces el diámetro del Sol.

c) *Cefeidas*. Son estrellas variables pulsantes, periódicas de período corto, llamadas así por ser muy semejantes sus propiedades físicas a las de la estrella tipo δ de Cefeo. Para esta estrella la magnitud visual varía regularmente de 3,6 a 4,3 en un período de unos 5 días (5,37), lo cual representa una variación de brillo aparente casi de 1 a 2. El aumento de brillo es más rápido que el descenso. Existen millares de estrellas de este tipo, pero de períodos diferentes: desde medio día hasta 50 días. Una estrella cefeida es «nuestra polar»; tiene un período de 4 días; un diámetro 30 veces mayor que el Sol y está a la distancia de unos 200 A. L.

Del estudio por Mrs. Leavitt de las numerosas cefeidas que existen en la nebulosa extragaláctica *Nube de Magallanes* dedujo (conclusión de importancia extraordinaria) que *el período de este tipo de estrellas es directamente proporcional a su magnitud absoluta*, o sea que la representación gráfica de esta relación es una línea recta. Medido, pues, el período de una cefeida, se deduce su brillo absoluto, y conocido éste y medido su brillo aparente se deduce la distancia a la que se encuentra la cefeida. A esta notable aplicación a la medida de distancias astronómicas deben las cefeidas su importancia extraordinaria para el astrónomo. Con ellas se han podido medir las distancias a cúmulos estelares muy alejados (por ejemplo, el de Hércules, a 40.000 A. L.), así como a diversas nebulosas extragalácticas.

d) *Variables irregulares*. Son estrellas que presentan variaciones irregulares de luminosidad y de las fechas de máximo o mínimo, cuyas causas constituyen aún un enigma. Una estrella tipo de esta clase es la gigante roja Betelgeuse, la α de Orión.

e) *Novas*. Estas estrellas variables ofrecen la notable particularidad de que su brillo aumenta bruscamente en un corto período de tiempo, pasa por un máximo y después desciende más lentamente con ligeras oscilaciones, hasta

alcanzar su brillo primitivo. Estrellas *novas* han sido observadas en todas las épocas, y la mayor parte aparecen en la región de la Vía Láctea; son relativamente frecuentes y antes de su exhibición son estrellas débiles sin ningún carácter especial. Las *novas* ganan en 2 ó 3 días una decena de magnitudes, o sea que su luminosidad es 10.000 veces mayor. Se conocen unas pocas estrellas que han pasado varias veces por el estado de *novas*: son las llamadas *novas recurrentes*.

Cada año se descubren unas 5 *novas*, la mayor parte telescópicas: entre 1900 y 1959 sólo 8 de ellas alcanzaron la magnitud 4.^a y por tanto llegaron a ser perceptibles a simple vista.

El estudio espectroscópico de la luz de una *nova*, en el período de máximo, muestra un fuerte desplazamiento de las rayas hacia el violeta, lo que indica que la materia brillante o foco luminoso se acerca violentamente hacia nosotros con velocidades del orden de 1.000 Km/s y prueba por tanto que en la estrella se ha producido una verdadera explosión.

La explicación lógica de este notable fenómeno está, sin duda, en los procesos nucleares que se producen en su interior; posiblemente, cuando la estrella en su evolución normal ha consumido demasiado hidrógeno y producido bastante helio por el ciclo del carbono del Sol, dada su masa y temperatura, puede llegar a un estado crítico en el que otra reacción nuclear en cadena se produzca, convirtiendo a la estrella en una verdadera bomba atómica de dimensiones colosales. La energía liberada en este proceso es más de 10.000 veces la energía radiada por el Sol en un año.

En algunos casos, como en el de la *Nova Aquilae*, se pone de manifiesto la explosión y expulsión de materia estelar por la nube anular tenue en que queda envuelta la estrella primitiva y en el aumento progresivo del diámetro del anillo cósmico. Dicha estrella dista de nosotros 1.200 A. L., o sea que el suceso al que nos referimos ocurrió hace 1.200 años.

f) *Supernovas*. Aún más raras y extraordinarias que las *novas* son las estrellas variables denominadas *superno-*

vas, en las cuales la variación de brillo es más rápida que en las novas y puede ser en el máximo ¡¡cien millones!! de veces superior al de la estrella primitiva y alcanzar la magnitud —15. Si una supernova explotase a la distancia del Sol, la Tierra se volatilizaría, y si a la distancia de Sirio (8 A. L.) iluminaría la Tierra más que la Luna llena.

En nuestra Galaxia, la aparición de una supernova se produce cada 300 años. Hasta el presente se tiene noticia de las 3 supernovas galácticas siguientes: la llamada *estrella de Tycho* en 1572, en Cassiopea, cuyo brillo superó al de Venus y fue visible durante el día; la *estrella de Kepler*, en 1604, en la constelación de Ophiuchus, y especialmente la aparecida en 1054 en la constelación del Toro, cuyos residuos se supone con fundamento forman hoy la célebre nebulosa difusa denominada por su forma *nebulosa del Cangrejo*.

El hecho de que el período de «decaimiento» de una supernova sea de unos 60 días, del mismo orden que el del elemento transuránico californio, cuya formación se puso de manifiesto en los residuos radioactivos de la bomba de hidrógeno (bomba H), que los americanos hicieron explotar en el atolón de Eniwetock, hace creer que lo que sucede en una supernova es una explosión nuclear de una parte o del total de la estrella, dando lugar, por un proceso de cascada muy rápido, de reacciones nucleares de fusión, a la formación de gran cantidad de cuerpos radioactivos, culminando en el Californio 254, el cual, después, decae en el tiempo antes indicado. De ser correcta esta explicación, una supernova será una especie de bomba H de dimensiones colosales, astronómicas.

ESTRELLAS GIGANTES

Son estrellas de una magnitud absoluta elevada y, por consiguiente, de una gran superficie. Las más brillantes se llaman *supergigantes*. En el diagrama de Hertzsprung-Russell, al comienzo de la serie principal, se encuentran las estrellas rojas de los tipos K y M; las *enanas rojas*, de pequeño tamaño y débil luminosidad. A este tipo es-

pectral corresponden las de la serie transversal, de gran tamaño y luminosidad: las *gigantes* y *supergigantes*. Entre las principales gigantes, todas de 1.^a magnitud, están: La *Cabra* (α del Cochero), distante 52 A. L., con una luminosidad equivalente a 150 soles (es una doble espectroscópica); *Arcturo* (α del Boyero), distante 41 A. L., y una luminosidad de 96 soles. Entre las supergigantes de 1.^a magnitud se encuentran como más notables las siguientes: *Betelgeuse* (α de Orión), distante unos 200 A. L., con una luminosidad de 2.900 soles, un diámetro 540 veces mayor que el del Sol, y una densidad igual a una diezmillonésima de la densidad solar; *Antares* (α del Escorpión), distante unos 400 A. L., con una luminosidad de 1.660 soles, un diámetro 330 veces el del Sol, y una densidad de cuatro diezmillonésimas de la densidad solar. Suponiéndola colocada con su centro en el del Sol, alcanzaría hasta la órbita de Marte.

ESTRELLAS ENANAS

a) *Enanas rojas*. Son estrellas de pequeño tamaño y poca luminosidad, situadas, como vimos en el esquema Hertzsprung-Russell, al principio de la serie principal, por bajo de las gigantes y supergigantes rojas. Dada su pequeña luminosidad son difíciles de observar y por ello se conocen pocas; sólo las más próximas a nosotros. Mas se cree actualmente que, en nuestra Galaxia, y probablemente en las otras, más de la mitad de las estrellas son enanas rojas. El Sol es una enana amarilla.

b) *Enanas blancas*. Las estrellas denominadas *enanas blancas*, son unas estrellas de grandísimo interés por su rara constitución. Son astros de muy baja luminosidad intrínseca, de temperatura bastante elevada, muy pequeño tamaño y enorme densidad, catalogadas en el diagrama de Hertzsprung-Russell aparte de todas las demás. Como las enanas rojas, debido a su pequeña luminosidad, solamente son conocidas las más próximas (unas 250), habiéndose calculado la distancia de unas 30. La materia que las forma no obedece a las leyes de los gases y se encuentra en un estado denominado materia «degenerada» que plantea problemas de

gran interés y dificultad. Parece que en el interior de estas estrellas no existe hidrógeno, ni helio, sino casi exclusivamente elementos pesados totalmente ionizados, con sus núcleos muy próximos, lo que explica su enorme densidad, que en algunas de ellas, como el compañero de Sirio, llega a ser de 60.000 veces la del agua, o sea que un cm^3 de esa materia en la Tierra pesaría 60 kilos. La densidad de la materia nuclear es del orden de 10^{15} gm/cm^3 o bien 10^9 toneladas por cm^3 . Un mm^3 (cabeza de alfiler) de dicha materia pesaría en la Tierra ¡¡¡un millón de toneladas!!! El interior de estas estrellas está rodeado de una atmósfera delgada de hidrógeno, donde tienen lugar reacciones nucleares que originan inestabilidad y vibraciones de la masa total, dando lugar, algunas veces, a explosiones sucesivas, acompañadas de expulsión de materia. No obstante esta inestabilidad, la vida de una enana blanca se cifra en 10^{11} años.

No es conocido el origen de estos astros singulares; posiblemente, estrellas de mayor tamaño que nuestro Sol, se convierten en una enana blanca después de haber perdido buena parte de su masa. También pueden proceder de novae que han sufrido gran número de explosiones. Lo que parece poco probable es que constituyan una fase normal de la vida de una estrella. Estas estrellas suelen encontrarse en agrupaciones de estrellas relativamente jóvenes. De los datos que poseemos de estas estrellas se deduce cuán incompletos son nuestros conocimientos sobre la naturaleza de las estrellas y su evolución.

CÚMULOS ESTELARES

En el mundo estelar que estamos examinando se encuentra a veces que las estrellas están reunidas o acumuladas no por efecto de perspectiva, sino formando un conjunto físico que se llama *cúmulo de estrellas* o *cúmulo estelar*. Según la forma que presenta la distribución de este conjunto se distinguen dos clases de ellos: los *abiertos* y los *cerrados*.

a) *Cúmulos abiertos*. Su forma es irregular y están formados por estrellas relativamente jóvenes y separadas, que pueden distinguirse bien con el anteojo e incluso a simple vista, como sucede con el cúmulo bien conocido de

las Pléyades, bien visible desde nuestras latitudes, que se encuentra a la distancia de unos 480 A. L. El más próximo que se conoce, el de las Hyades, está a 100 A. L., y el más lejano a 22.000 A. L. Dadas las dimensiones de nuestra Galaxia podemos decir que este tipo de cúmulos está próximo a nosotros.

Los diámetros, dimensión transversal mayor en ellos, suelen ser de 5 a 60 A. L. y su «densidad» o acumulación estelar también varía de unos a otros: p. ej. en el caso de las Pléyades, contando sólo las estrellas más brillantes que el Sol, se encuentran unas 3 estrellas por parsec cúbico; y, en cambio, los hay con 83 estrellas por parsec cúbico. Este número corresponde a una real concentración de estrellas, ya que en las proximidades del Sol se encuentra una estrella por 150 parsec cúbicos.

Algunos de ellos se encuentran en expansión, como el relativamente joven del Trapecio, que se admite compuesto de 400 miembros. De la comparación entre los clichés, uno actual y otro de hace 50 años, tomados con el mismo telescopio, se deduce que está en expansión rápida, y que todas esas estrellas estuvieron muy próximas, hace solamente 300.000 años, cuando todas ellas se formaron en conjunto.

b) *Cúmulos globulares*. Más espectaculares que los abiertos son los llamados *cúmulos globulares*, verdaderos amasijos de estrellas, de forma globular, conteniendo en su interior centenas de miles de estrellas. Éstos cúmulos están muy alejados y apenas se distingue a simple vista la situación de algunos de ellos, como es el caso para nuestro hemisferio del «cúmulo de Hércules» cuyo nombre o notación científica es M 13 (NGC 6205), descubierto por Halley en 1714.

Estos entes estelares están mucho más alejados que los abiertos y están repartidos en una esfera centrada en el núcleo de nuestra Galaxia, de radio 50.000 A. L. Se conocen unos 400 en nuestra Galaxia, lo que indica que no son muy abundantes.

La densidad estelar en el centro de ellos es tan extraordinariamente grande, que ni aun con los más potentes telescopios se puede discernir las estrellas individuales en su parte central. En ellos existen estrellas cefeidas que per-

miten calcular su distancia. Los más próximos conocidos están a 22.000 A. L.; el de Hércules a 34.000 A. L., y últimamente se ha observado uno extragaláctico a 250.000 años-luz y otro a 475.000 A. L. Aun los más próximos están talmente alejados que no se pueden distinguir en ellos más que las estrellas gigantes y supergigantes y aquellas correspondientes a los tipos espectrales B y A en la serie principal del diagrama Hertzsprung-Russell. Las estrellas como el Sol no son distinguidas en el aglomerado.

Las dimensiones transversales o diámetro globular suele ser del orden de 100 A. L.; por ello, en el centro, aunque aparentemente haya un amasijo de estrellas, la distancia entre ellas es de unas 10 U. A.; así pues tienen holgura para poderse mover sin chocar unas con otras. El cúmulo de Hércules tiene un diámetro de 160 A. L. y el número de estrellas en él se estima en 500.000. El hecho de que tenga forma globular ligeramente aplastada, hace creer tiene el conjunto un movimiento de rotación lento, que no ha podido ser comprobado experimentalmente. Se supone que estos aglomerados estelares o cúmulos galácticos tienen un movimiento de conjunto de la galaxia según trayectorias elípticas muy excéntricas y un período de unos 1000 millones de años.

MATERIA INTERESTELAR: NEBULOSAS

Nuestro imaginario explorador del mundo estelar al ir de estrella en estrella podrá darse cuenta que el camino no está exento de materia; estará muy enrarecida, sí, mas no totalmente ausente. En los espacios interestelares no existe el vacío perfecto, aunque sí un alto vacío, muchísimo mayor que el que podemos conseguir con nuestros aparatos de vacío más perfeccionados. Esta materia existente entre las estrellas es la llamada *materia interestelar*. Está compuesta de gas (fundamentalmente hidrógeno) y polvo (núcleos o átomos de los distintos elementos). En ciertas regiones hay mayor concentración que en otras y aparecen como nubes cósmicas llamadas *nebulosas*, que pueden ser, para nosotros observadores, *brillantes* u *oscuras*. Las brillantes pueden serlo por la reflexión de la luz con que las

iluminan las estrellas situadas apropiadamente (*nebulosas de reflexión*) o bien porque dicha luz o radiación estelar excite la fluorescencia de los átomos constituyentes de la nebulosa, como sucede con nuestras lámparas o tubos fluorescentes actuales (*nebulosas de emisión*). Las primeras presentan un espectro continuo; las segundas, uno característico de rayas brillantes.

La presencia de la materia interestelar y de estas nebulosas ocasionales pueden ponerse también de manifiesto por la absorción de la luz estelar que las atraviesa (*nebulosas oscuras*), o bien por la recepción radioeléctrica, con los modernos radiotelescopios, de la radiación de 21 cm de longitud de onda característica del hidrógeno neutro. Una nebulosa oscura es un caso particular de una difusora que no es iluminada por ninguna estrella próxima. Su apariencia en los clichés fotográficos es la de un «agujero» en el cielo o mancha negra sin estrellas. En la proximidad del Sol la densidad de la materia interestelar es de 1 átomo de hidrógeno por cm^3 (en los grandes vacíos que obtenemos en nuestros laboratorios hay 4.000 millones de moléculas por mm^3). Este gas tan extremadamente enrarecido contiene, no obstante, una masa de ¡ 10^{30} gramos por año-luz cúbico! Las nebulosas tienen un diámetro medio de unos 30 A. L. y contienen unos 10 átomos por cm^3 . Para dar idea del gran vacío que este enrarecimiento supone, diremos que en una masa gaseosa a la presión ordinaria hay ¡¡cuarenta trillones de moléculas por cm^3 !! y en un gran vacío de Laboratorio unos ¡¡¡cuatro billones por cm^3 !!! La masa total de este gas y polvo en nuestra Galaxia es aproximadamente igual a la de todas las estrellas que la forman. El constituyente principal, como hemos dicho, es el hidrógeno, encontrándose también, raramente, otros átomos e incluso algunas combinaciones químicas cuyas moléculas pueden agruparse para formar pequeños grumos de polvo (de 10 a 50 Å o diez millonésimas de milímetro), que constituyen el 1 o el 2 % solamente de la materia interestelar.

Son célebres y conocidas, por haber sido divulgada su forma en publicaciones populares, la ya citada «del canchalejo»; las nebulosas planetarias de forma anular (que recuerdan los anillos de humo de tabaco que forman a veces

los fumadores), generalmente con una estrella central, que puede ser nova y dar origen a la nebulosa; la de América, cuyo nombre se debe a su gran parecido con la parte Norte del continente americano; la gran nebulosa de Orión, ya observada y dibujada por Huygens; la nebulosa difusa, también de Orión, sobre la que se proyecta la silueta de una nebulosa oscura llamada por su forma «cabeza de caballo» y, por último, la nebulosa oscura, no visible desde nuestra latitud, llamada por su forma «saco de carbón», que se encuentra en la constelación austral Cruz del Sur.

NUESTRA GALAXIA

El grupo de astros estelares que hasta ahora ha podido examinar nuestro explorador luminoso y al cual pertenece el Sol, forman un conjunto físico, o sea, relacionado entre sí, llamado Galaxia. Por analogía, se da también el nombre de galaxias a conjuntos estelares semejantes, exteriores al nuestro, y por ello al referirnos al nuestro decimos «nuestra Galaxia». Ya dijimos al principio que este conjunto parece como encerrado dentro de un volumen de forma lenticular cuyas dimensiones allí indicamos. Después de los estudios y observaciones modernas, tanto ópticamente con el gran telescopio del Monte Palomar (Estados Unidos), como eléctricamente con el gran radiotelescopio de Jodrell Bank (Inglaterra) podemos deducir que nuestra Galaxia es de las llamadas espirales. La estructura que desde el exterior y a buena distancia de ella, podría contemplar nuestro afortunado explorador sería la siguiente: una parte central o núcleo esférico densamente poblado de estrellas y cúmulos estelares globulares, que constituyen el conjunto conocido como Población II, pero sin nubes de polvo cósmico. De dicho núcleo arrancan tres brazos curvados en forma espiral que recuerda la de los gases incandescentes que se desprende de una rueda de fuegos artificiales en movimiento. Es como si la Galaxia fuese una rueda de artificio de dimensiones no digamos colosales, sino astronómicas. Dichos brazos espirales llevan los nombres de: brazo de Orión (que contiene al Sol en su borde interior); brazo de Perseo y brazo de Sagitario. El con-

junto de estos brazos espirales es el llamado *halo* de la Galaxia. La casi totalidad de las estrellas de la Galaxia pertenecen al núcleo o al halo. Los brazos del halo están constituidos por estrellas que constituyen la Población I, cúmulos estelares abiertos y nubes de gas y polvo cósmico. Nuestro Sol pertenece a uno de estos brazos galácticos, a una distancia del centro, como dijimos anteriormente, de 30.000 años-luz.

Este halo de forma discoidal está animado de un movimiento de rotación alrededor del centro del núcleo galáctico, mas no como un total sólido, con igual velocidad angular todos sus puntos, sino como una masa fluida con movimiento turbillonario, o sea, la velocidad angular de las diferentes partes aumenta al disminuir su distancia al eje de rotación, y por tanto, el período de revolución aumentará con dicha distancia. Mas, en el caso particular de la Galaxia, las cosas no suceden tan simplemente, pues ocurre que la velocidad lineal u orbital de un punto de ella, en ese movimiento de rotación del conjunto de la Galaxia, va aumentando al aumentar la distancia al centro, pasa por un máximo de 226 Km/s a la distancia de 21.000 A. L. y luego disminuye. Debido a esta diferente rotación es de creer que los brazos de la galaxia se deformarán con el tiempo. El Sol, situado a 30.000 A. L. del centro, participará de este movimiento turbillonario de conjunto, con una velocidad orbital de 216 Km/s y un período de 220 millones de años. Durante el último ciclo ha podido tener lugar en la Tierra la sucesión de los principales períodos geológicos.

Muchos de vosotros aún recordaréis con agrado la magistral lección inaugural, llena de ciencia y amenidad, que nuestro buen amigo y querido compañero Dr. Solé Sabarís, hizo en la inauguración del curso 1956-57 con el título *Entre la Geología y la Historia*, y en la que nos describió el proceso físico del último de estos períodos geológicos: la *Era Cuaternaria*.

El número de estrellas que pueblan la Galaxia se cifra en ¡cien mil millones!, de las que solamente ¡mil millones! forman parte de los brazos.

El sentido del giro en el movimiento de rotación galáctico, parece estar probado actualmente que es aquél que

parece lógico intuitivamente, por los movimientos turbilhonarios de masas flúidas, o sea aquel que parece que los brazos son arrastrados por la rotación, es decir, que las espiras giran en el sentido del arrollamiento al núcleo. La masa de la Galaxia se estima en unos 10^{11} soles y como la del Sol, es 10^{30} Kg, resulta que la masa galáctica es del orden de 10^{44} gm = 10^{41} Kg = 10^{38} toneladas. En los brazos espirales es donde abundan las estrellas nuevas de la Población I y es donde tiene lugar el posible nacimiento de nuevas estrellas a partir del gas y polvo cósmico. Los detalles de su nacimiento no son muy diferentes a los que hemos supuesto para nuestro Sol.

Para dar una idea de la pequeña «densidad estelar» de nuestra Galaxia, por ejemplo, en la región más próxima al Sol, haremos el siguiente esquema: Si representamos las estrellas por granos de trigo, se desplazarían, en esta escala, unos pocos milímetros por año y sería preciso colocarlos a una distancia entre sí de unos 200 Km. Sobre una región como Cataluña, apenas si podrían ponerse *¡dos gramos de trigo!* Este ejemplo dará idea de la pequeñísima «densidad estelar» y de la probabilidad, prácticamente nula, de un choque entre las estrellas.

QUINTA ETAPA: LOS UNIVERSOS-ISLAS

Si nuestro imaginario viajero, situado fuera de la Galaxia, en su soledad espacial, otease por las lejanías de la Galaxia, podría observar por todas las direcciones, allá lejos, muy lejos, como una especie de oasis materiales en medio del desierto espacial: son las llamadas nebulosas extragalácticas o *universos-islas* (como los denominó el filósofo KANT), de cuya existencia nos dan cuenta los clichés fotográficos, algunos de ellos maravillosos e impresionantes, obtenidos con los más potentes telescopios y largas horas de exposición. Las distancias que tendrá que recorrer nuestro viajero para llegar a cada uno de ellos son muy diferentes: unos, como las llamadas *Nubes de Magallanes*, están relativamente cerca de nuestra Galaxia, a 146.000 años-luz de nosotros; otras, como la célebre de Andrómeda, ya se encuentran más distantes, a 2 millones de A. L. El cúmulo de la Virgen, a 33 millones A. L.; el de Leo, a 650; dos en la Osa Mayor, uno a 500 y otro a 1.450 millones de A. L., habiéndose registrado galaxias distantes de nosotros ¡dos mil millones de años-luz!

TIPOS DE NEBULOSAS

A juzgar por los clichés obtenidos podría observar nuestro viajero distintos tipos de estos mundos extragalácticos o *mundos-islas*. Los principales son los siguientes:

a) *Nebulosas espirales*, de forma semejante a la Galaxia, con núcleo y generalmente dos brazos «coplanarios» que parten de dos regiones nucleares diametralmente opuestas. Esta forma sugiere que el conjunto está girando alre-

dedor del núcleo y es de naturaleza flúida. Hay gran variedad en este tipo espiral, desde las que tienen núcleo muy voluminoso y brazos cortos y poco abiertos en los que no se han podido apreciar estrellas, hasta las que poseen un núcleo reducido y largos brazos en los que se aprecian núcleos de condensación y estrellas, si la nebulosa no está muy lejana. Claro es que la percepción por nosotros de los detalles de las nebulosas de este tipo dependerá de su posición respecto a nosotros, ya que las podemos ver «de frente», cuando la visual es paralela al eje de rotación de la nebulosa y oblicuamente, o bien «de canto», cuando la visual es normal a dicho eje de rotación. En este último caso la nebulosa nos parece como una especie de aguja luminosa diez veces más larga que gruesa (aprox.), con una pequeña expansión (el núcleo) en el centro, y una banda negra a lo largo de ella, debida, posiblemente, a la abundancia en su plano ecuatorial de nubes oscuras de polvo cósmico absorbente como en nuestra Galaxia.

b) *Nebulosas barradas*. En una minoría de nebulosas espirales (un tercio), los brazos, poco desarrollados, no parten del núcleo, sino de los extremos de una especie de barra luminosa que atraviesa el núcleo: son las llamadas *nebulosas barradas*.

c) *Nebulosas elípticas*. Su aspecto fotográfico es el de un objeto ovalado, de bordes difusos en las que no se percibe estructura espiral, ni estrellas, aunque los datos últimos indican que en alguna de ellas se han podido apreciar estrellas. Estas nebulosas están muy concentradas y se componen generalmente de mayor número de estrellas rojas que las espirales, en las que abundan las estrellas jóvenes blancas y azules, lo cual permite sospechar que estas nebulosas elípticas sean la etapa final de las nebulosas espirales.

d) *Nebulosas irregulares*. Estas nebulosas no tienen ni núcleo aparente, ni forma simétrica que indique un movimiento de rotación. De todas las galaxias conocidas, sólo un 3 % son irregulares. Sus dimensiones suelen ser menores que las de las otras y son menos luminosas, por lo que son más difíciles de observar; y sólo se han podido descubrir las más próximas.

Nuestra Galaxia es de las espirales de dimensiones medias; la llamada nebulosa de Andrómeda (entre los astrónomos M 31) que es de las más próximas a nosotros, tiene un diámetro doble (200.000 A. L.).

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

La repartición espacial de las galaxias en el cielo acusa ciertas concentraciones que no parecen ser casuales, ni de efecto de perspectiva. Las últimas ideas sobre esta cuestión son que la mayoría de las galaxias pertenecen a cúmulos de galaxias, habiéndose localizado unos 2.700 de estos cúmulos.

Se hacen actualmente los siguientes grupos de clasificación:

a) *Grupo de galaxias*, es un conjunto de galaxias, con menos de un centenar, que no tiene centro definido, ni, por tanto, mayor concentración hacia dicho centro.

b) *Cúmulo de galaxias*, es un conjunto de galaxias con centenas o millares de galaxias, que presenta una concentración bien marcada hacia uno o varios centros.

c) *Nube de galaxias*, es un gran grupo irregular de galaxias, conteniendo algunas centenas de millares de galaxias.

d) *Nube de grupos de galaxias* se compone de un gran número de grupos distintos de galaxias.

e) *Nube de cúmulos de galaxias*, es la mayor acumulación de materia que se conoce y que por ahora podemos imaginar en el Universo.

GRUPO LOCAL

Así se denomina el formado por nuestra Galaxia y otras 20 más, próximas a ella, entre ellas las dos Nubes de Magallanes, que por su relativa gran proximidad, se las considera como satélites de nuestra Galaxia, y la gran nebulosa espiral de Andrómeda, ya citada anteriormente. Hay indicios de que este grupo forma un conjunto físico cuyos miembros parecen gravitar alrededor de un punto, situado entre nuestra Galaxia y la de Andrómeda. Recientemente

se han descubierto nuevas galaxias enanas pertenecientes a este grupo local que, como los otros, puede considerarse *galaxia de galaxias*.

CÚMULOS Y NUBES DE GALAXIAS

En ellos el número de galaxias componentes es bastante más elevado que en el grupo local. El cúmulo de Pegaso, a la distancia de 100 millones de A. L., contiene más de 400 miembros y el de *Coma*, distante 240 millones de A. L., correspondiente a la constelación *Coma de Berenice*, en una región a menos de 6° del centro, se han contado unos ¡¡treinta mil miembros o galaxias!!; ocupan de un volumen que se estima en ¡¡440 millones de años-luz cúbicos!! En clichés fotográficos de otras regiones del cielo se han podido distinguir hasta ¡¡dos mil quinientas galaxias por grado cuadrado!!; o sea, en una parte del cielo equivalente a cuatro veces la *Luna llena*.

En la parte central de un cúmulo de galaxias, la distancia media entre ellas es, por lo menos, de ¡dos trillones de Km! y su velocidad relativa de 2.000 Km/s. Las galaxias de un cúmulo pueden chocar entre sí, con una probabilidad de un choque cada tres mil millones de años. Alguno de estos extraños y sorprendentes sucesos han sido registrados fotográficamente y radiotelescópicamente. Cuando ocurren, las estrellas componentes no son afectadas, pues las distancias que los separan son enormemente mayores que sus dimensiones. Mas sí chocan, y se afectan las nubes de gas y polvo interestelares, produciéndose una onda de compresión colosal, convirtiéndose la región del choque en un foco muy intenso de ondas hertzianas que podemos detectar o registrar con los radiotelescopios modernos.

Según los últimos resultados experimentales consultados, el número de galaxias descubiertas se aproxima al billón; el espacio intergaláctico no está totalmente vacío, pues en él existe materia cósmica, aunque extremadamente enraecida, habiéndose descubierto como a modo de brazos de enlace, entre las galaxias próximas, de materia cósmica; alguno de estos «puentes» con una longitud de ¡un millón

de años-luz! y estrellas a modo de estribos de este puente cósmico.

No obstante estas masas colosales de las galaxias y el inmenso número de ellas, así como la materia intergaláctica, la densidad media del espacio es enormemente pequeña. Según Hubble, esta densidad media está comprendida entre 10^{-30} gm/cm³ y 10^{-28} gm/cm³. La densidad media de un cúmulo de galaxias, según los cálculos de Zwicky, es del orden de 10^{-24} gm/cm³, que es la densidad media de nuestra Galaxia. Prácticamente, el espacio está vacío, ya que dichas cifras indican un vacío muchísimo mayor que los más grandes vacíos que podemos obtener en el Laboratorio. Esto es debido, claro es, a la enorme distancia que separa a las estrellas y a las galaxias entre sí. Las estrellas son tan raras en el espacio que, como ya dijimos, la masa de la enrarecida materia interestelar es tan grande como la masa total de ellas.

Con el fin de darnos idea de por dónde andan estos «mundos de Dios», podemos hacer el siguiente esquema gráfico a escala de 1 dm=1 A. L. En él, tomando como punto de partida el Sol, el límite del sistema solar estaría a 0,1 mm; la Próxima Centauri, a 43 cm; el centro de la Galaxia, a 3 Km; las Nubes de Magallanes, a 15 Km; la Nebulosa de Andrómeda, a 200 Km; el centro del cúmulo de la Virgen, a 3.300 Km, y el límite de exploración alcanzado, a más de 200.000 Km.

FUGA DE NEBULOSAS

Lo más sorprendente de esas nebulosas extragalácticas es la propiedad descubierta por su más amante y tenaz investigador: el astrónomo americano Hubble. Al estudiar el espectro de ellas observó que las rayas espectrales de absorción del hidrógeno, elemento fundamental en todas ellas, estaban fuertemente desplazadas hacia el rojo y tanto más, cuanto mayor era su distancia. Este resultado sorprendente, interpretado lógicamente como debido al efecto Doppler, lleva a la notable conclusión de que, «dicho a la manera de Newton», *las cosas pasan como si las nebulosas extragalácticas huyesen de nosotros, de nuestra propia Ga-*

laxia, con una gran velocidad, tanto mayor cuanto mayor es la distancia a la que se encuentran. Admitida así esta notable propiedad, puede deducirse la velocidad de fuga de las mismas, y como estas velocidades son proporcionales a las distancias, deducir el valor de estas distancias. Estas velocidades de fuga aumentan en la llamada *constante de Hubble*, que vale 100 Km/s, por megaparsec, o sea un millón de parsecs, equivalente a 3.260.000 A. L. Con esta proporción resulta que una galaxia para la que el desplazamiento de sus líneas hacia el rojo indique en ella una velocidad de fuga de 15.000 Km/s está a una distancia de 500 millones de A. L.; otra para la que dicha velocidad sea de 40.000 Km/s, su distancia es de 1.300 millones de A. L., y otra de 60.000 Km/s, 2.000 millones de A. L. Han sido registradas galaxias con una velocidad de fuga de 120.000 Km/s en 1956, y últimamente, según hemos leído en la simpática revista *Aster*, editada por aficionados barceloneses, se ha registrado una nebulosa extragaláctica, con una velocidad de fuga de 135.000 Km/s, correspondiente, según la constante de Hubble dada anteriormente, a una distancia de ¡¡cuatro mil cuatrocientos millones de años-luz!!

El límite de visibilidad, el cual corresponde a una velocidad de fuga igual a la velocidad de la luz en el vacío (300.000 Km/s), estará, pues, a la distancia de unos ¡¡diez mil millones de años-luz!! Hay, por tanto, gran interés por alcanzar técnicamente este límite de visibilidad.

Admitido, pues, que dicho desplazamiento espectral es debido al efecto Doppler, forzoso es creer que las galaxias huyen de nuestra propia Galaxia o nosotros de ellas, que es lo mismo. Aún hay más: esta huida es también respecto a las otras galaxias.

Las galaxias, pues, huían unas de otras y a esas velocidades fantásticas, casi luminosas, que tenían algunas de ellas hace ¡dos mil millones de años! Huyen. Se alejan. ¿Desde cuándo? ¿Hasta cuándo? ¿Hacia dónde? ¿Desde dónde?

UNIVERSO EN EXPANSIÓN

En este resultado experimental está basada la idea del *Universo en expansión*, un espacio en el cual se encuentran las galaxias, aumentando sin cesar las distancias entre ellas. La representación de este espacio podemos hacerla imaginándolo como un balón en la superficie del cual estuviesen marcadas las posiciones de las galaxias en un instante. Si se infla el balón, las marcas de las galaxias se alejan unas de otras. Ninguna de ellas es el centro del movimiento y para un observador situado en cualquiera de ellas, todas las otras parecerían alejarse de él. El radio de este Universo, supuesto esférico, cuyo valor depende de la densidad media de la materia en él, es del orden de los ¡¡diez mil millones de años-luz!!

El radio del hipotético Universo primitivo, o *átomo primitivo* de Lemaître (al que haremos pronto referencia), dada la enorme densidad de su materia (10^{15} gm/cm³) valdría unos 10^{13} cm = 10^8 Km = ¡¡cien millones de kilómetros!!, o sea, igual a ¡¡dos tercios de la distancia de la Tierra al Sol!! Dicho Universo primitivo tendría un volumen análogo al de la esfera que tiene por radio la distancia del Sol a Venus.

SEXTA Y ÚLTIMA ETAPA: EL PARANINFO

Ha terminado nuestro imaginario viaje espacial y forzoso es volver desde las profundas lejanías en que nos encontrábamos, instantáneamente, con el más veloz de los vehículos, con el pensamiento, al recinto de esta gran sala (el adjetivo puede parecer un poco ridículo acostumbrados a las inmensidades espaciales en el Universo) para meditar algo sobre nuestro viaje. Inmediatamente surgen de nuestro pensamiento una serie de interrogantes:

¿Cuándo y cómo empezó todo esto?

¿Cuándo el Sumo Hacedor creó la materia del Universo y echó a andar el mecanismo que la mueve?

¿Hasta cuándo y hasta dónde se alejan esas galaxias con esas velocidades inimaginables? ¿Es que el Universo se expande indefinidamente? ¿No será que, como algunos creen, el corrimiento de las rayas espectrales observado sea debido a una especie de envejecimiento o pérdida de energía de los rayos luminosos a lo largo del espacio en su constante caminar hace miles de millones de años, en cuyo caso no hay tal Universo en expansión?

Si es estático el Universo, ¿es finito o infinito? Y si es finito, ¿qué forma y dimensiones tiene?

¿Cómo se formaron las galaxias? ¿Fue, como piensan Lemaître, Gamow, Ryle y otros célebres cosmólogos, que una vez estuvo toda la materia reunida en una inmensa bola que era el Universo, en la que por la acción gravitatoria, en el interior estarían los átomos aplastados de tal modo que sus núcleos en contacto y deshechos formarían un amasijo inestable de nucleones (protones y neutrones) y electrones, llamado *átomo primitivo*, en el cual se pro-

dujo una inmensa explosión nuclear que dio lugar a la formación de los núcleos de los elementos químicos, siendo las galaxias trozos de aquel «Ylem» o materia primera, en movimiento expansivo (como hoy le observamos) debido a la explosión del átomo primitivo? Y si así fue, ¿la acción gravitatoria entre las galaxias no frenará el movimiento de expansión, de aparente fuga de las mismas, y llegará un tiempo en el que en dicho movimiento se invierta el sentido del mismo y las galaxias se precipiten hacia un centro de atracción universal, originando de nuevo el átomo de Lemaître, para recomenzar el ciclo evolutivo, siendo entonces nuestro mundo un Universo pulsante, ilimitado en el tiempo y con una evolución cíclica? ¿Ocurre, por el contrario, como piensan Bondi, Lyttleton, Hoyle y otros, que nuestro Universo es estable, en el cual la densidad media de la materia es invariable, lo que lleva a admitir en un Universo en expansión, como parece ser el nuestro, la creación continua de materia por todo él? Si así fuese, el ritmo de dicha creación de materia (por conversión, sin duda, en materia de la energía radiante del Universo) con arreglo a la famosa ecuación de Einstein: $E=mc^2$ o fórmula «siglo XX», como también es conocida, sería el de ¡¡un átomo de hidrógeno por litro cada mil millones de años!! El espacio sería euclidiano y el tiempo infinito. La materia nueva creada se agruparía para formar nuevas galaxias a fin de compensar la pérdida o desaparición de aquellas que por haber alcanzado la velocidad de la luz en la expansión del Universo, su luz no llegará jamás a nosotros y por tanto desaparecen para siempre de nuestra vista. Ahora bien, como el número de galaxias observadas permanece constante, las que desaparecen son continuamente reemplazadas por las de nueva creación y el Universo presentará siempre el mismo aspecto a cualquier observador. Según Lyttleton en su reciente teoría del modelo de *Universo eléctrico*, la fuga de las nebulosas o expansión del Universo en el modelo estático o de *creación continua* es debida a una repulsión eléctrica originada por una ligerísima diferencia de carga entre el protón y el electrón (hecho aún no comprobado) que hace que un átomo de hidrógeno no sea completamente neutro eléctricamente. Según

los cálculos de Lyttleton, bastaría una diferencia de carga entre el protón y el electrón en la proporción de *¡¡uno en un trillón!!* para contrarrestar la acción gravitatoria entre los átomos de hidrógeno y que una nube de ellos tendiese a expandirse en la forma que se observa se expande el Universo.

¿Cómo nace, evoluciona y muere (si es que tiene fin) una simple estrella?

¿Cómo nació nuestro Sol y cómo y cuándo será su final?

¿Cómo nació nuestro sistema solar? Si los planetas nacieron del Sol, ¿fue, como pensaba Laplace, por la acción centrífuga en la masa solar en rotación, o bien por la acción de marea provocada en ella por el paso cerca del Sol de una estrella? Si no nacieron del Sol, ¿se originaron, como él, por condensación gravitatoria de la masa de una nebulosa primaria?

¿Existen otros sistemas semejantes a nuestro sistema solar? Y si existen, ¿existe vida en ellos semejante a la nuestra en la Tierra, en algunos de sus planetas?

¿Cómo y cuándo nació nuestro planeta Tierra? ¿Cuál será su final?

¿Cómo y cuándo nació nuestra Luna? ¿Fue atrapada, en su caminar errante en el espacio, por la Tierra y esclavizada por el campo gravitatorio de ésta, o bien nació, como cree Gamow, de las mismas entrañas de la Tierra, de la cual fue separándose paulatinamente por acción centrífuga hasta la posición que hoy tiene, dejando en aquélla la huella de este «parto astral» en la fosa del Océano Pacífico?

Así podríamos seguir haciéndonos preguntas que por hoy no tienen respuesta acertada o aceptada por los científicos, y, por tanto, las podemos considerar como enigmas del Macrocosmos. Ante ellos el hombre pensador no se ha quedado estático y ha intentado explicárselos, lo más lógicamente posible, proponiendo hipótesis atrevidas y muchas veces gratuitas (hablar por no callar) base de las diversas teorías cosmogónicas que hoy están en el candelero, cuya exposición, discusión y crítica es un tema académico sumamente atrayente, interesante y de gran actualidad, como

puede serlo también la exposición del estado actual de nuestros conocimientos acerca de uno cualquiera de los interrogantes que antes hemos hecho. Confío en que alguno de los jóvenes que pueblan nuestras aulas o de los que por vez primera harán su entrada en ellas en este curso que hoy inauguramos, cultive con éxito los estudios astronómicos y lleve un poco de luz a la obscuridad actual sobre todos los enigmas antes planteados y que podemos englobar en un solo título: *Origen y evolución del Universo*.

Me sentiría feliz si entre los jóvenes que me escucháis lograrse despertar la vocación (o avivar la que pueda alguno ya tener) por esta ciencia noble, desinteresada, antigua y siempre de gran actualidad como es la Astronomía. Asimismo, bien quisiera que esta primera lección del curso fuese para todos y especialmente para aquellos que por vez primera van a entrar en nuestras aulas, el acicate para despertar en ellos curiosidad por los fenómenos del mundo físico, interés por la resolución de muchos problemas que su estudio nos plantea, a la vez que respeto, admiración y gran amor por el Supremo Ser, creador de todo este mundo que nos rodea.