



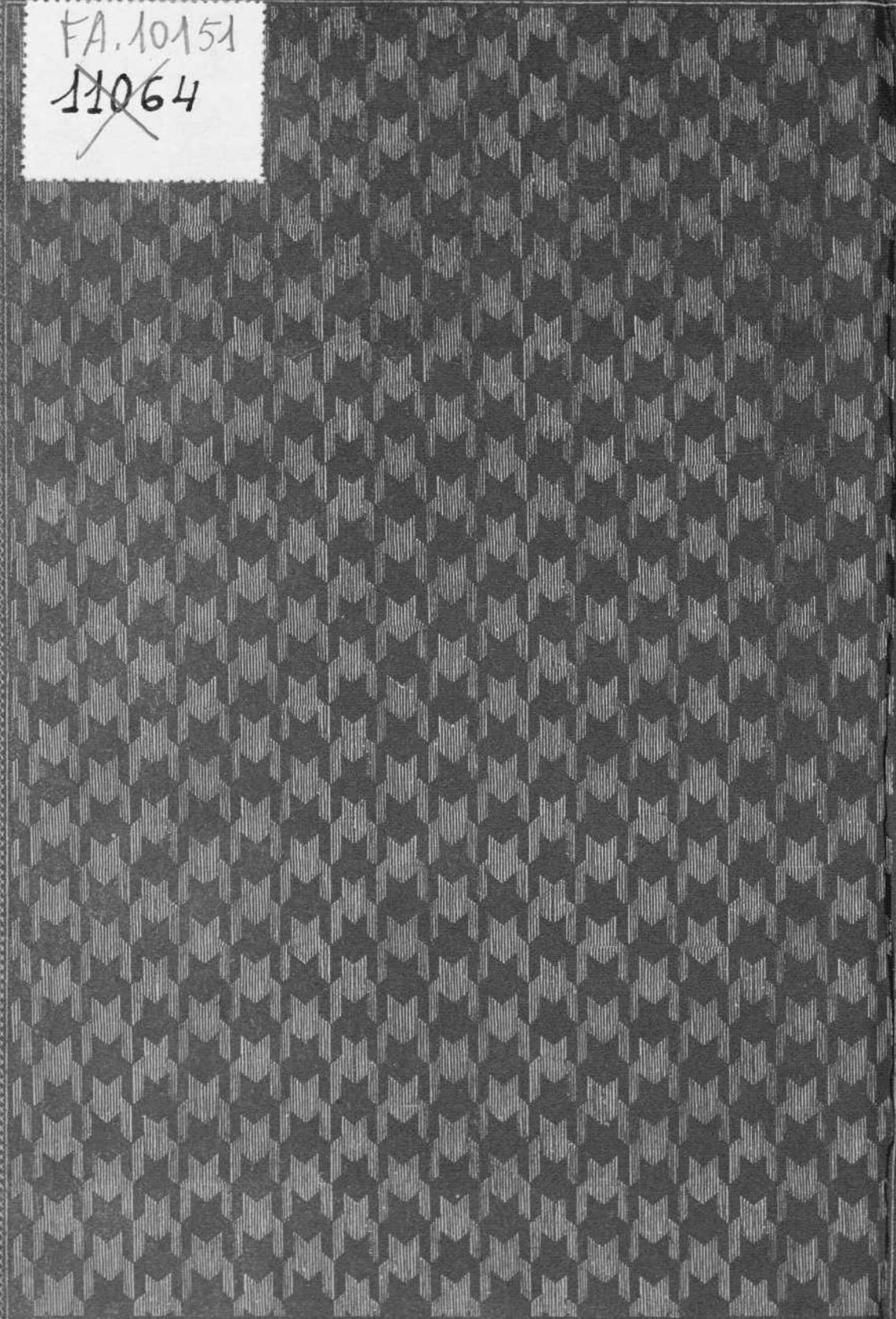
ASTRONOMIA
POPULAR

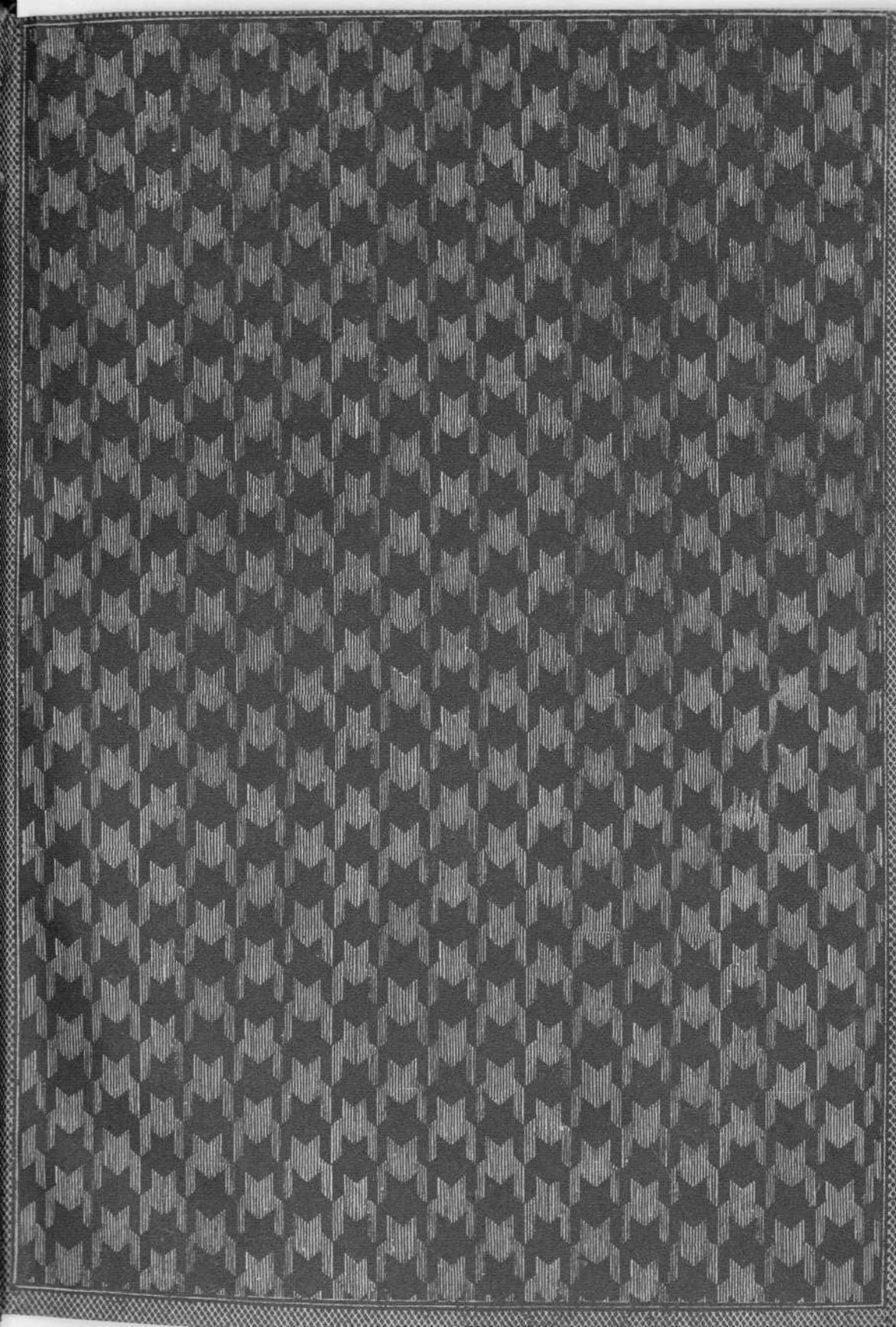
BRINDO

A. ROCA

FA.10151

~~11064~~





11064

ASTRONOMÍA POPULAR



ASTRONOMÍA

POPULAR

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CIELO

NUEVA EDICIÓN REFUNDIDA DE LA OBRA EL TELESCOPIO MODERNO
CON INCLUSIÓN DE LOS MÁS MODERNOS DESCUBRIMIENTOS

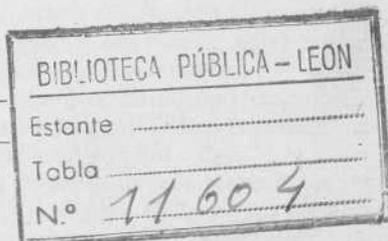
POR

AUGUSTO T. ARCIMIS

DE LA REAL SOCIEDAD ASTRONÓMICA DE LONDRES



TOMO I



BARCELONA

MONTANER Y SIMÓN, EDITORES

CALLE DE ARAGÓN, NÚMS. 309 Y 311

1901

ASTRONOMIA

POPULAR

DIRECCION GENERAL DE CIENCIAS

ES PROPIEDAD



INTRODUCCIÓN

Qué espectáculo el de los cielos!

Transportémonos con la imaginación á una suave colina de donde se descubra un dilatado horizonte. Cae la tarde; á nuestra derecha, el Sol, próximo á desaparecer tras la cumbre de las lejanas montañas, lanza sus rojizos rayos sobre la hermosa campiña; su rutilante disco, que podemos contemplar sin riesgo de nuestra vista, afecta las formas más caprichosas al hundirse lentamente en la sierra; ya no queda sino un filete luminoso: también se ha desvanecido, y el *hacha del mundo*, el *ojo del cielo*, corre á iluminar nuevas regiones llevando á ellas el calor y la vida.

En el cielo, no lejos del sitio por donde el Sol ha desaparecido, brilla la Luna con virginal pureza; aún no está en su cuarto creciente y sólo percibimos su divina falce de plata, cuyo borde, dirigido hacia el Sol, parece indicarnos que de este inmenso y luminoso astro es tributaria en sus resplandores.

Observando con mayor atención, distinguiremos su disco completo, de color ceniciento y débilmente iluminado: ¿será ésta su luz propia? No; la casta Diana sólo es visible por los rayos que le prestan la Tierra y el Sol.

Mientras tanto, ha cerrado la noche y la inmensa bóveda resplandece con los fuegos de millares de estrellas. ¿Cuál será aquella tan brillante, tan hermosa, de tan vivo centelleo, que percibimos casi entre los cuernos de la Luna? Venus tal vez, Lucifer de los antiguos; fijémonos en este planeta, ya que tan poderosamente ha llamado nuestra atención. Pero ¿no parece haber disminuído la distancia que lo separaba de la Luna? Sin duda alguna, ¡si casi se tocan! ¿Será posible que lo oculte? Aguardemos un momento.... ¡Ahora! Desapareció.

¡Qué impresión tan profunda nos ha causado la observación de este fenómeno! Hemos sentido un gran placer en descubrir un secreto de la Naturaleza, unido á cierto temor de violar sus arcanos. Déjemos pasar este momento de emoción que todo hombre experimenta, á pesar suyo, cuando por primera vez dirige su mirada inteligente al cielo, y compara, sin darse cuenta de ello, la propia pequeñez y miseria con la admirable máquina del universo.

Volvamos ahora nuestra vista hacia el oriente y marquemos alguna estrella

notable, que parezca rasar la superficie de la Tierra; veremos cómo se eleva poco á poco, conservando la misma situación respecto de las demás; alcanza una gran altura, queda un momento estacionaria, y con igual lentitud empieza á descender al lado opuesto del horizonte. Según acabamos de ver, la distancia que mediaba de una estrella á otra ha permanecido constante; luego todo el cielo ha girado de oriente á occidente como una inmensa esfera en cuya superficie estuviesen enclavadas las estrellas; así lo creyeron los primeros astrónomos, dejándose guiar sólo por los sentidos. Si volvemos ahora nuestra espalda al sitio que el Sol ha ocupado durante el día, veremos que algunas estrellas no nacen, ni se ponen, sino que describen círculos alrededor de otra de escaso brillo, que parece inmóvil en medio de la azulada cúpula; es la Polar y sirve de eje á todo el firmamento.

En las horas que llevamos observando, no habremos dejado de notar la aparición de algunos de esos brillantes meteoros que, como globos inflamados, surcan el espacio en todas direcciones: ¿serán estrellas desprendidas de su empíreo asiento ó un fenómeno terrestre? Tal vez algo de lo uno y de lo otro, como tendremos ocasión de ver más adelante; pero absortos en la contemplación de tantas maravillas no hemos echado de ver que el número de las estrellas va disminuyendo de un modo sensible y que aun las más resplandecientes se desvanecen y amortiguan; es que la nacarada luz de la aurora nos anuncia la pronta reaparición del lumínar del día, que vuelve á repartirnos con regularidad majestuosa sus dones y beneficios.

¿Y permaneceremos indiferentes á la vista de tanta grandeza? ¿No será motivo bastante, lo poco que hemos observado en estas breves horas, para desear conocer hasta la última palabra de esta ciencia admirable?

Después de recorrer las siguientes páginas, comprenderemos la respuesta de Anaxágoras cuando le preguntaron si le era indiferente su patria: «No, contestó señalando al cielo, me ocupó de ella siempre, y creo que no estoy en el mundo más que para observar el sol, la luna y todo el cielo.» (*Diógenes Laercio*, libro II.)

LIBRO PRIMERO

EL SOL

CAPÍTULO PRIMERO

El Sol á simple vista. — Forma, dimensiones y distancia del Sol. — Las manchas solares. Su descubrimiento. — Métodos para observarlas.

Cuando en pleno día, al hallarse el Sol en mitad de su carrera, algunas masas de ligeros vapores modifican la intensidad de sus poderosos rayos, permitiéndonos contemplarlo sin peligro, se presenta á nuestros ojos como un cuerpo luminoso, rigurosamente circular y de un hermoso color blanco mate ó amarillento. Las ocasiones de observar el Sol de esta suerte son bastante raras, y tenemos que valernos de varios artificios si queremos examinar su disco de un modo regular y periódico, preservando nuestra vista de sus deslumbrantes resplandores.

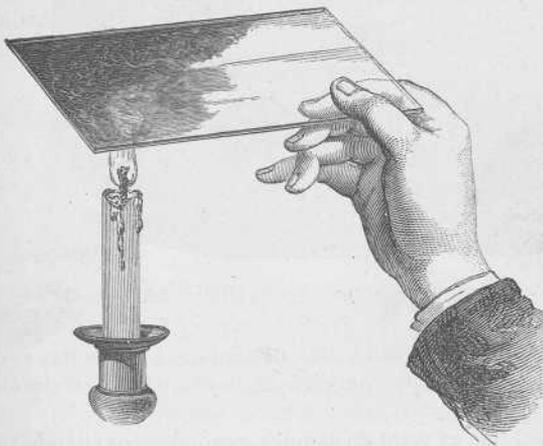


Fig. 1. — Vidrio ahumado para observar el Sol

cho con la punta de una aguja muy fina en un naípe ó tarjeta; la cantidad de luz que penetra por este orificio es tan escasa, que no basta á molestar nuestro sensible aparato visual; este método tiene, sin embargo, el defecto de deformar la imagen.

El uso de los vidrios de color, ó *modificadores*, es preferible; pero también se obtienen buenas imágenes y de intensidad variable, empleando un cristal ahu-

mado; para esto se toma un pedazo de luna de espejo sin azogar y de caras bien planas y paralelas, y paseándolo á corta distancia de la llama de una bujía (figura 1) se le cubre con una capa de negro de humo de espesor desigual; este baño de carbón, dotado de gran fuerza absorbente, detiene la mayor parte de los rayos solares; pero es necesario que se deposite con regularidad para que todos los puntos del disco solar presenten un brillo uniforme.

El Sol examinado á través de nuestro vidrio ahumado se nos presenta, según hemos dicho, como un disco circular perfecto, que subtiende un ángulo de unos

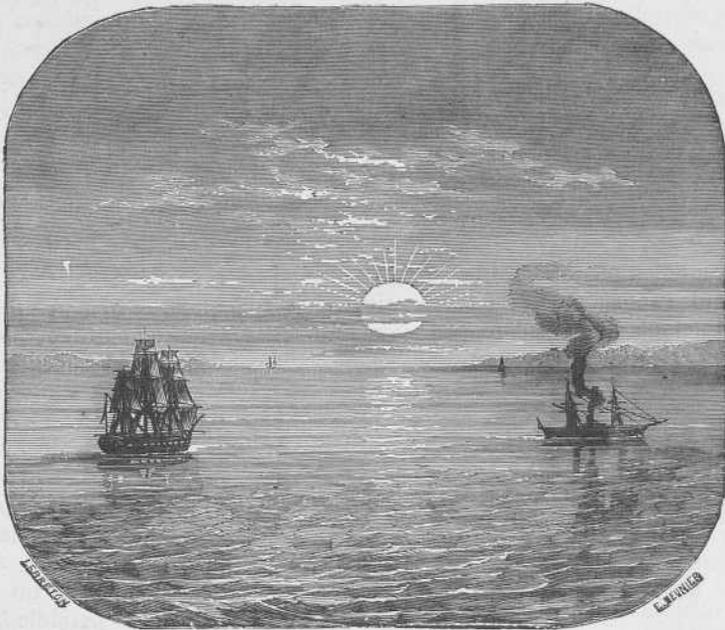


Fig. 2. — Deformación del Sol por la refracción. Forma elíptica del disco

32 minutos ó sea poco más de medio grado. Sus dimensiones aparentes son casi iguales á las de la Luna, y ambos cuerpos vienen á medir una misma extensión superficial en el cielo.

Para dar una idea de lo fácil que es errar en asuntos astronómicos cuando se juzga tan sólo por los sentidos, preguntaríamos á nuestros lectores: ¿de qué tamaño se ven el Sol ó la Luna? Es seguro que casi todos contestarían que del tamaño de un plato corriente, esto es, de unos veinte centímetros de diámetro, colocado á cincuenta centímetros de distancia; y sin embargo, si á esta misma distancia situamos un cuerpo opaco mucho más pequeño que el plato, por ejemplo, un guisante, bastará para cubrir por completo el disco solar; luego no puede aparecer á nuestros ojos tan grande como nos lo imaginamos al principio.

A medida que el Sol disminuye de altura y se aproxima al horizonte, va de-

bilitándose su luz, haciéndose más rojiza; el disco empieza á aplanarse en su diámetro vertical presentando una forma elíptica (fig. 2); esto es debido á la refracción terrestre; la atmósfera de la Tierra, compuesta de capas concéntricas tanto más densas cuanto más próximas se hallan á la superficie del suelo, tiene la propiedad de absorber y desviar de su dirección los rayos luminosos; y mientras mayores sean la densidad y el espesor de la capa atravesada, mayor será la absorción. Bouguer ha calculado que la luz del Sol es 1,000 veces más intensa cuando éste alcanza 40° de altura, que al hallarse á 1° sobre el horizonte.

La deformación que el Sol experimenta por la refracción dista mucho de ser regular; dejando para más adelante la explicación detallada del fenómeno, nos contentaremos ahora con exponer lo que se observa á la salida y á la puesta del Sol, cuando su disco afecta la forma elíptica; la mitad inferior de la elipse es más aplanada que la superior; el semieje D O (fig. 3) de la media elipse A D B es menor que el O C de la media elipse superior A C B; de suerte que, conservándose sin alteración el diámetro horizontal, tan sólo disminuye el vertical, sobre todo en su mitad inferior.

La falta de homogeneidad de las capas atmosféricas produce también otras

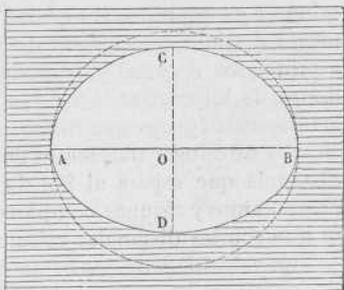


Fig. 3. — Forma doblemente elíptica del Sol al orto y al ocaso

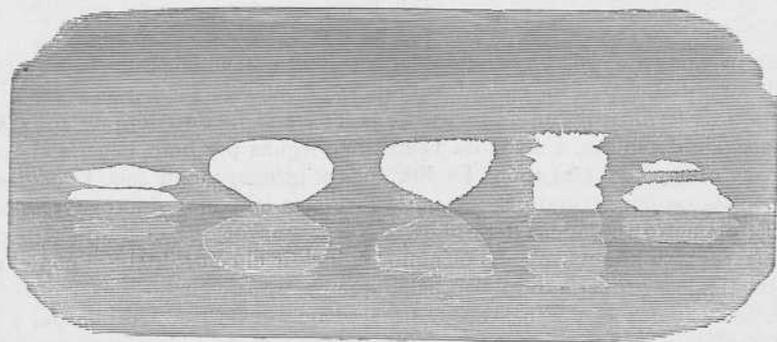


Fig. 4. — Aspecto del Sol en el horizonte

deformaciones en el disco solar, y no es éste, por cierto, el espectáculo menos interesante que puede observarse á la orilla del mar, con un horizonte claro y despejado. La fig. 4 representa algunos dibujos tomados por Biot y Mathieu en las playas de Dunkerque, y si sólo en estos momentos nos fuera dable observar el Sol, adquiriríamos de su forma un concepto bien erróneo.

Hemos dicho que el Sol subtiende un ángulo de unos 32 minutos; pero si consideramos la distancia que de él nos separa, estas dimensiones, al parecer

pequeñas, son en realidad enormes y apenas podemos concebir su magnitud. Este valor angular es variable en distintas épocas del año, llegando á ser de 32 minutos 36 segundos cuando la Tierra se encuentra á la menor distancia del Sol ó sea en su *perihelio* (1), lo que tiene lugar hacia el 1.º de enero; y de 31 minutos 31 segundos al hallarse á su distancia máxima ó sea en su *afelio* (2), seis meses después, hacia el 1.º de julio. La distancia media que nos separa del Sol á principios de abril y de octubre es igual á 23.150 radios terrestres ó 148 millones de kilómetros. La fig. 5 muestra el tamaño aparente del disco solar en las diversas épocas que hemos señalado.

En otro lugar trataremos de los métodos que se han empleado para medir la distancia que separa al Sol de la Tierra; basten, por ahora, los guarismos que presentamos y algunas comparaciones familiares que darán al lector una idea de lo que son las distancias celestes.

La velocidad de las balas disparadas por los cañones modernos casi es de

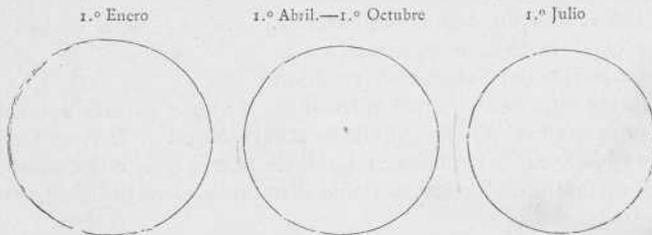


Fig. 5. - 1 dimensiones aparentes del disco solar á sus distancias medias y extremas de la Tierra

1.000 metros en el primer segundo de su trayectoria; una de estas balas tardaría en llegar al Sol, suponiéndola animada de la misma velocidad, 4 años y 7 meses. Un tren de ferrocarril que arrancase de la Tierra el 1.º de enero de 1901 y caminase, sin detenerse, á razón de veinticinco leguas por hora, llegaría al Sol en el mes de mayo del año 2069! La luz, que se propaga con una velocidad de 72.000 leguas por segundo, recorre esta distancia en ocho minutos y tercio.

El diámetro verdadero del Sol es 108 veces mayor que el de nuestro globo ó de 1.377.452 kilómetros; si hiciéramos coincidir el centro del Sol con el de la Tierra (fig. 6), ocuparía todo el espacio que nos separa de la Luna y otro tanto más. Su volumen es 1.259.712 veces mayor que el de nuestro planeta, y si lo representamos por una esfera de 10 centímetros, será la Tierra una esferita de 1 milímetro colocada á 21 metros de distancia, por lo tanto imperceptible á nuestra vista. Un arco de un segundo, visto desde la Tierra en el centro del disco solar, equivale á 715 kilómetros, y uno de un minuto, por lo tanto, á 49 900 kilómetros; más adelante veremos que con frecuencia se observan manchas en la superficie del Sol que miden un minuto y más de diámetro (fig. 7) y llamas de 3 minutos de altura, que vienen á ser unas 32.000 leguas métricas (3).

(1) De *peri*, cerca de, y *elios*, Sol.

(2) De *apo*, lejos de, y *elios*, Sol.

(3) Leguas de 4 kilómetros.

Los hilos de araña usados en los micrómetros subtienden un ángulo de $\frac{1}{3}$ de segundo en un anteojo de 4 metros, y cubren, pues, una extensión de 238 kilómetros. Estos ejemplos, dice el P. Secchi, bastan para hacer comprender que objetos apenas perceptibles pueden tener en realidad dimensiones enormes. El radio ecuatorial de la Tierra, visto desde el Sol, tiene un valor angular de $8' 80$ y es igual á 6.378 kilómetros; este valor es el de la paralaje actual del Sol, según los datos más recientes, y en él se basan todos nuestros cálculos.

El tamaño aparente de los objetos aumenta ó disminuye á nuestra vista según que nos acercamos ó nos alejamos de ellos, y esto ha de suceder con el

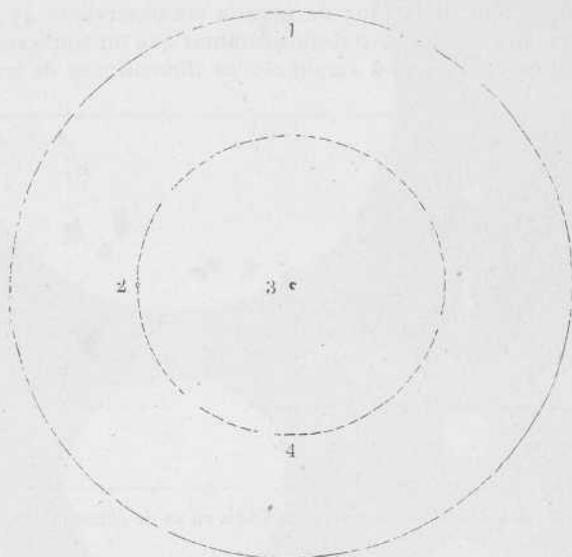


Fig. 6. — Dimensiones comparadas del Sol y de la órbita de la Luna: 1, contorno del disco solar; 2, Luna; 3, Tierra; 4, órbita de la Luna

Sol, cuyo diámetro aparente será mucho mayor visto desde Mercurio que desde Neptuno, el más distante de los planetas y el último de los que componen el sistema solar, tal cual hoy se le conoce. La fig. 8 representa las dimensiones medias aparentes del disco solar visto desde cada uno de los planetas principales y de algunos de los asteroides. Este grabado producirá en el ánimo del lector una impresión más duradera que la que obtendría leyendo la simple proporción numérica.

En el libro primero de las *Geórgicas* de Virgilio se lee el verso siguiente:

Ille ubi nascentem maculis variaverit ortum (1)

(1) Cuando el Sol naciente parezca cubierto de manchas.

en que Keplero creía ver una marcadísima alusión á las manchas solares, pretendiendo fortificar su opinión con este otro verso del mismo autor:

Si maculae incipient rutilo immiscerier igni (1);

pero, en nuestro entender, Virgilio sólo se refiere á las nubes ó vapores terrestres. A los astrónomos chinos se deben las observaciones más antiguas que se conocen sobre las manchas solares; pero como el libro en que están contenidas, la *Enciclopedia* de Ma-Twoan-Lin, no se ha conocido en Europa hasta hace poco, han sido completamente inútiles para nosotros los trabajos de los observadores celestes. Desde el año 301 á 1205 de nuestra era observaron 45 manchas, número á primera vista escaso; pero si consideramos que no empleaban instrumentos de ninguna especie, ni para amplificar las dimensiones de las manchas, ni

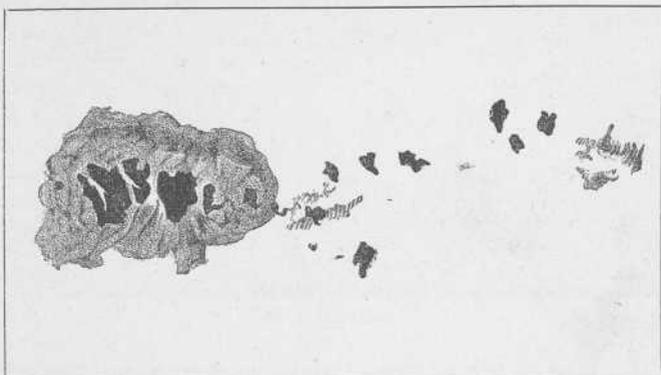


Fig. 7. — Mancha solar observada en Cádiz en 22 de diciembre de 1876

para disminuir el brillo de los rayos solares, teniendo que hacer sus observaciones durante una niebla ó cuando algunas ligeras nubes velaban el Sol, y que, por otra parte, las manchas visibles á la simple vista son bastante raras, no dejaremos de admirar la paciencia y la perspicacia de estos primeros observadores. Para dar una idea de su tamaño las comparaban á un huevo, á un dátil, á una ciruela, etc.; pero como no nos dicen á qué fruta asemejaban el Sol, carecen de valor estas comparaciones.

En Europa también se observaron algunas manchas en la Edad media, pero se creyó que fuesen planetas que pasaban por delante del Sol, ó algún otro fenómeno de causa desconocida; en tiempo de Carlomagno se vió una gran mancha negra durante ocho días seguidos sobre el disco solar, y se supuso que podría ser el planeta Mercurio, sin reflexionar que era imposible que este cuerpo pudiera tardar tanto tiempo en cruzarlo; en 840, 1096 y 1588 se observaron algunas más, y el mismo Keplero tomó una de éstas también por un paso de Mer-

(1) Si á las manchas se agrega el color de fuego.

curio. Las manchas solares pueden verse, como hemos dicho, á la simple vista; pero para esto es preciso que tengan grandes dimensiones; La Lande, en su larga carrera astronómica, tan sólo vió una de esta clase.

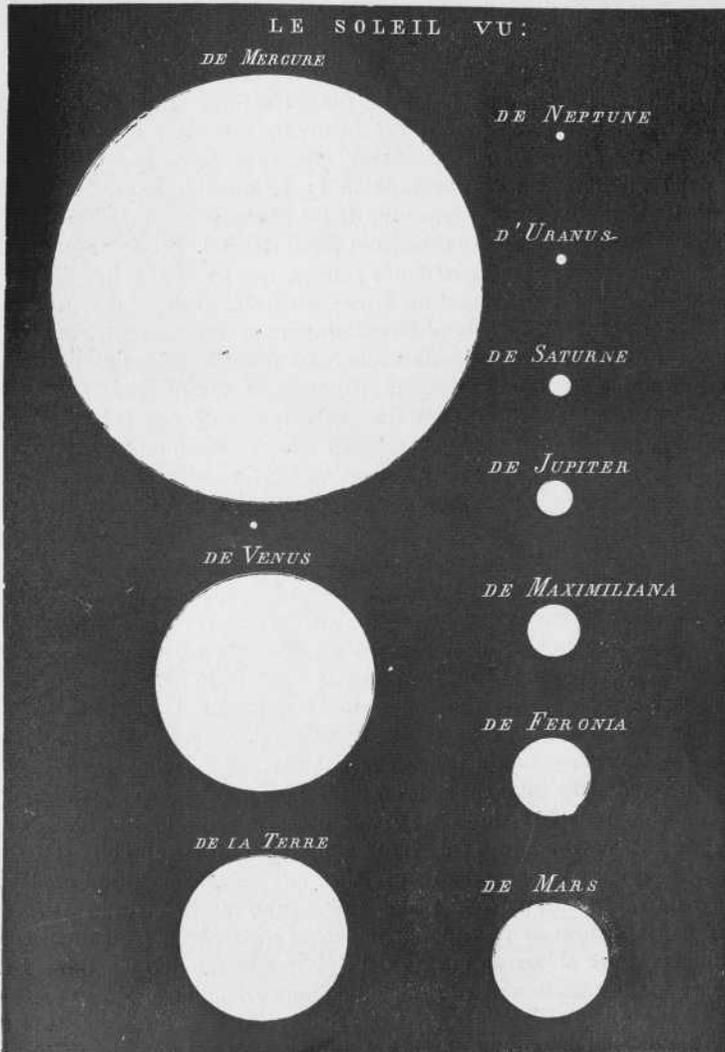


Fig. 8. - El Sol visto desde los principales planetas; comparación de sus dimensiones aparentes

El descubrimiento, propiamente dicho, de las manchas solares data del invento del antejo y ha dado lugar á polémicas muy animadas, entre los mismos observadores primero, y más tarde entre los eruditos; á pesar de los muchos

libros que hemos consultado sobre este asunto, no nos atrevemos á decir á quién corresponde la gloria del descubrimiento, si gloria puede haber en dirigir un antejo al Sol y percibir un punto negro en su disco; inventado el antejo, esto había de suceder en un plazo brevísimo, y por otros títulos y más nobles, son grandes los nombres de Galileo, Scheiner, Fabricio y de los demás astrónomos que se disputaban la prioridad del invento.

La primera obra impresa conocida en que se trata de las manchas del Sol, es la que publicó el astrónomo holandés Juan Fabricio, titulada *Joh Fabricii, Phrysiæ de Maculis in Sole observatis et apparente earum cum Sole conversione Narratio, et Dubitatio de modo eductionis specierum visibilium.* (Witterbergæ, 1611 in 4.º) La dedicatoria está fechada en 13 de junio de 1611. De esta obra extractamos la siguiente curiosa relación, de las observaciones de Fabricio:

«Examinando un día con un antejo el disco del Sol, vi con sorpresa en su superficie una mancha negruzca bastante grande, que tomé al principio por una nube; pero fijándome más, conocí mi error; la elevación del Sol y su excesivo brillo (1) me obligaron á dejar la observación para el día siguiente. Mi padre y yo pasamos el resto del día y aquella noche con gran impaciencia, discutiendo sobre lo que podía ser aquella mancha; si pertenece al Sol, decía yo, volveré á verla, indudablemente; en caso contrario, su movimiento nos la hará invisible; en fin, al día siguiente la vi otra vez, con un placer indecible; pero había cambiado de lugar, y esto aumentó nuestra confusión; sin embargo, ideamos recibir los rayos solares por un pequeño agujero de una cámara oscura sobre un papel blanco, y la vimos dibujarse perfectamente en forma de nube entrelarga; el mal tiempo nos obligó á suspender nuestras observaciones durante tres días; pasados éstos había avanzado la mancha oblicuamente, hacia el occidente. Distinguímos otra más pequeña próxima al borde del Sol, que en el transcurso de algunos días llegó hasta el centro. Vino luego una tercera; antes había desaparecido la primera que se presentó, y pocos días después lo hicieron las otras dos. Vacilaba entre el temor y la esperanza de no volverlas á ver, pero diez días después apareció la primera en el borde oriental. Comprendí entonces que hacía una revolución, y desde principios del año me he confirmado en esta creencia y he enseñado estas manchas á otras personas, que piensan lo mismo que yo. Sin embargo, una duda me impidió escribir desde luego sobre este asunto, y me hacía arrepentirme de haber empleado mi tiempo en estas observaciones. Veía que no conservaban entre sí la misma distancia, que cambiaban de forma y de velocidad; pero mi placer fué mucho mayor cuando descubrí la verdadera causa. Como es de suponer por estas observaciones, las manchas se hallan situadas sobre el cuerpo mismo del Sol, que es esférico y sólido, y al llegar cerca de los bordes han de verse más pequeñas, disminuyendo su velocidad. Invitamos á los aficionados á las verdades físicas á que se aprovechen del bosquejo que les presentamos; supondrán, sin duda, que el Sol tiene un movimiento de conversión, como dijo Jordán Bruno en su *Tratado del Universo*, y en último lugar, Keplero en su libro sobre los movimientos de Marte; pues, en otro caso, no sé qué podríamos hacer de estas manchas.»

(1) Todavía no se empleaban modificadores.

El P. Scheiner era profesor de matemáticas en Ingolstadt: un día del mes de marzo de 1611, observando el Sol con un pequeño anteojo en un momento en que las nubes debilitaban el poder de sus rayos, distinguió unos puntos negros

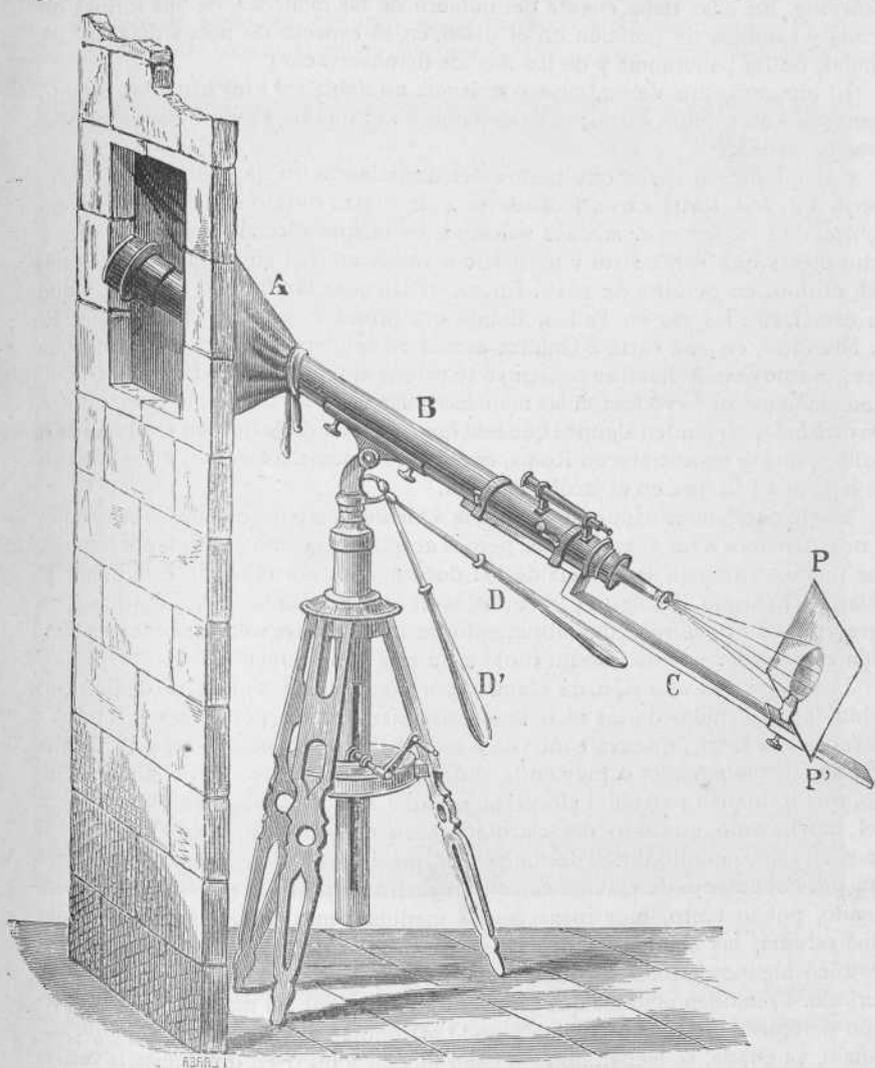


Fig. 9 - Anteojo astronómico y aparato de proyección para el estudio de la superficie solar

en el disco y los enseñó al P. Cysati y á otras personas; como en aquella época se profesaban los principios peripatéticos y la doctrina de Aristóteles de la incorruptibilidad de los cielos, no se atrevió Scheiner á publicar su observación

bajo su propio nombre; comunicó su descubrimiento al burgomaestre de Augsburgo, Marcos Velsler, en tres cartas, que éste dió á luz en enero de 1612, tituladas *Apellis post tabulam latentis tres epistola de maculis solaribus ad Marcum Velslerum*. En ellas daba cuenta del número de las manchas, de sus formas diversas y cambios de posición en el disco en el espacio de pocos días, de las fúculas, de las penumbras y de los medios de observación.

El burgomaestre Velsler, cuya conciencia no debía ser muy estrecha, intentó pasar por autor de las cartas; pero descubierto el fraude, se vió obligado á confesar la verdad.

Galileo, por su parte, que tantos descubrimientos había hecho en el cielo, escribió á Velsler una carta, fechada el 4 de marzo de 1612 y cuyo título era *Epistola ad Velslerum de maculis solaribus*, en la que afirmaba que hacía diez y ocho meses que había visto y mostrado á varios amigos suyos las manchas del Sol, esto es, en octubre de 1610. En sus «Diálogos» también lo asegura; y que en esta fecha las vió en Padua, donde era profesor, y luego en Venecia. El P. Micanzio, en una carta á Galileo, escrita en septiembre de 1631, afirma que cuando este grande hombre construyó su primer antejo, una de las cosas que inmediatamente observó fueron las manchas solares, en las que nadie quería creer. De otro lado, pretenden algunos que está fuera de toda duda que, en abril de 1611, Galileo, que se encontraba en Roma, enseñaba las manchas solares á los literatos de la Ciudad Eterna en el jardín Bandini.

Por lo que hemos expuesto, se ve que á Galileo pertenece el descubrimiento, si nos atenemos á sus afirmaciones; pero si aceptamos, como es prudente hacerlo, por único testimonio las fechas de los documentos, corresponde este honor al holandés Fabricio. El mérito y los trabajos de Galileo son tan grandes, que poco agregaría á su nombre el descubrimiento de las manchas solares; Scheiner también es acreedor por más de un título á nuestra consideración.

Despertada la atención de Galileo por las cartas á Velsler, se dedicó con asiduidad al estudio de las manchas, consiguiendo á los pocos meses formular su verdadera teoría, que era contraria á la de Scheiner, pues éste las consideraba como planetas situados á muy corta distancia del Sol. Reconoció, como Fabricio, que formaban parte del globo solar, y que su traslación aparente dependía del movimiento giratorio del astro sobre su eje, suponiéndole de duración unos 28 días; período difícil de comprobar, por la insuficiencia de los instrumentos, pues el antejo de Galileo carecía de micrómetro, ni es posible aplicárselo, siendo, por lo tanto, muy inexactas las medidas; más tarde, cuando Scheiner ideó estudiar las manchas proyectando la imagen del Sol sobre una pantalla, rectificó algunos errores, sin determinar, sin embargo, la duración exacta del período. Pretenden algunos que el invento de estudiar las manchas por proyección pertenece también á Galileo y no al astrónomo alemán. En la carta de Micanzio, ya citada, se lee: «.....puedo decir el sitio y lugar en que hicisteis ver las manchas con el antejo *sobre un papel blanco* á nuestro Padre, de gloriosa memoria, Fray Pablo Sarpi.»

A pesar de tanto como se ha dicho contra Scheiner, no se le puede negar, á nuestro juicio, una aplicación extraordinaria y una perseverancia verdaderamente germánica; ideó fabricar de vidrio de color las lentes de su antejo,

abandonando luego este sistema, para substituirlo con la aplicación de un modificador delante del ocular. A Galileo, no obstante su genio, no se le ocurrió artefacto tan sencillo, y se veía obligado á observar el Sol, ó próximo al horizonte ó á través de las nubes, por cuya causa perdió la vista completamente años después: descuido incomprensible, pues era sabido que los antiguos empleaban

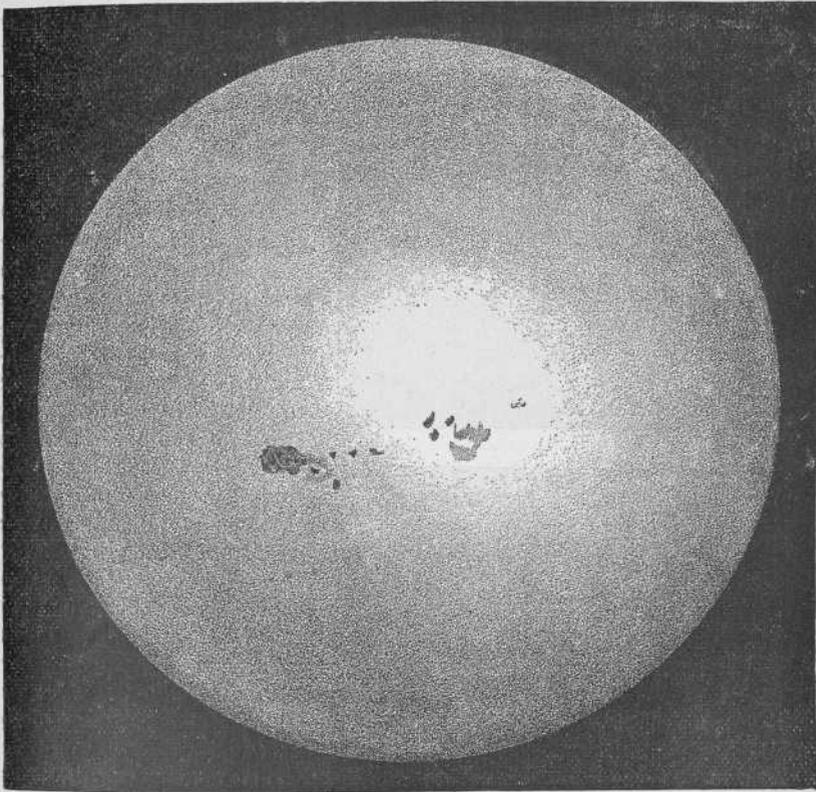


Fig. 10.—Aspecto del Sol el 22 de diciembre de 1876. (Observación hecha en Cádiz.)

en sus observaciones modificadores de talco y otras substancias. A Scheiner se debe también la primera forma de ecuatorial, que construyó según los consejos y advertencias del P. Grienberger.

Las manchas solares pueden observarse ó mirando al Sol directamente con un antejo ó telescopio provisto de su vidrio obscuro, ó recibiendo sobre una pantalla la imagen formada por el instrumento, á lo cual se llama sistema de proyección; como este último método es bastante exacto y además muy cómodo, merece que lo describamos con algún detenimiento.

En la ventana de una habitación que caiga ó dé frente al Mediodía, se coloca

un bastidor de madera (fig. 9) en el cual va clavada la orilla de una especie de saco, de tela oscura y tupida y de forma cónica ó piramidal A, por cuyo fondo

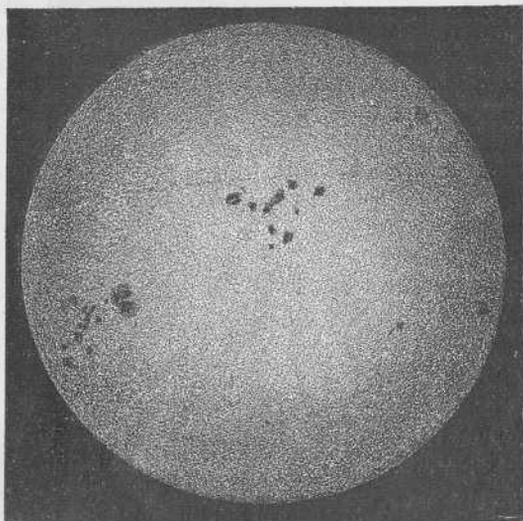
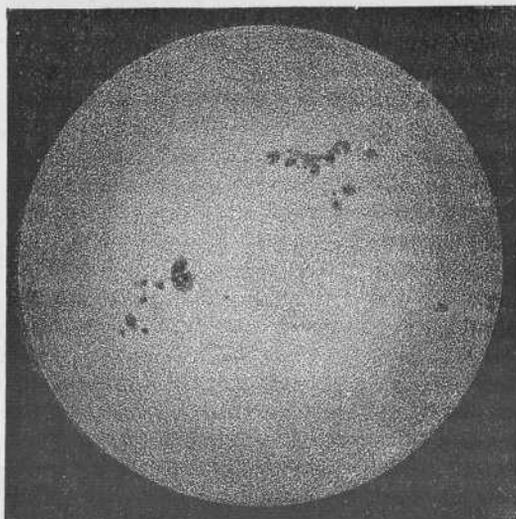


Fig. 11. — Fotografías del Sol obtenidas en el Observatorio de Wilna el 22 de septiembre de 1870

ó vértice pasa el tubo del anteojo B, destinado á las observaciones; á éste se asegura la tela con un anillo de goma ó con una cinta; y cerrando los demás huecos que pueda tener la habitación, la dejamos transformada en una cámara oscura, por donde no penetra más luz que la que atraviesa el anteojo; C es una regla de madera afianzada al cuerpo del instrumento por dos anillos de latón, por la cual puede correr la pantalla P P'; sobre la pantalla se coloca una hoja de papel blanco; también puede cubrirse con una lechada de yeso fino, que se aplana y suaviza con un cristal; D D' son dos palanquitas que sirven para dar al anteojo movimiento en sentido vertical y horizontal. Dirigiéndolo al Sol y enfocándolo convenientemente, se separa ó acerca la pantalla hasta obtener una imagen clara y detallada y de las dimensiones que se desee; de esta suerte se pueden observar las manchas con gran descanso y dibujar sus menores detalles. La fig. 10 representa el aspecto del Sol el 22 de diciembre de 1876, observado en Cádiz por este método.

Como las imágenes proyectadas por un anteojo se hallan invertidas respecto á las mismas imágenes vistas directamente á través del instru-

mento, hay que tener presente esta diferencia, para saber con verdad los puntos del disco que observamos. Los anteojos astronómicos invierten las imágenes

nes, y por lo tanto, la proyección será directa, de suerte que el Norte, el Sur, el Este y el Oeste corresponderán exactamente á iguales puntos del cielo, viéndose entrar las sombras por el Este y salir por el Oeste, como si se observase directamente el Sol sin auxilio de ningún medio óptico. Lo contrario tendrá lugar si se emplea un anteojo de larga vista, ó si al anteojo astronómico se adapta un ocular terrestre, pareciendo entonces en la pantalla que las manchas describen sus trayectorias en sentido opuesto al de su marcha real. Si al ocular se agrega un sencillo micrómetro de vidrio, las líneas de éste se marcarán en la pantalla, siendo muy fácil situar las manchas y medir su extensión.

En muchos observatorios de Europa y de América se hacen en la actualidad estudios diarios de la superficie solar, ora por este método, ya por medio de la fotografía; en el gran Observatorio de Greenwich es una *señora* la que varias veces al día reproduce fotográficamente la imagen del Sol. Gracias á los dibujos del Sr. Ventosa, astrónomo del Observatorio de Madrid, y á las fotografías de Greenwich del 4 de abril de 1876, se pudo conocer cuán inexacta fué la observación de un astrónomo alemán sobre el paso de un pretendido planeta por delante del Sol. Ya hablaremos á su debido tiempo de ese hipotético cuerpo.

La fig. 11 es la reproducción fidelísima de dos fotografías del Sol, obtenidas en el Observatorio de Wilna el 22 de septiembre de 1870, á las 8^h 41^m de la mañana, época no lejana del máximo de manchas.

CAPITULO II

Movimiento y deformación aparente de las manchas. - Formas de sus trayectorias según la época del año. - Aspecto de las manchas solares y de la fotosfera. - Rugosidades de la fotosfera.

Jordán Bruno y Keplero, por consideraciones puramente teóricas, sospecharon el movimiento giratorio del Sol. Sea ó no Fabricio el descubridor de las manchas solares, es certísimo, por lo menos, que á él se debe la primera afirmación, fundada en sus propias observaciones, del movimiento giratorio del

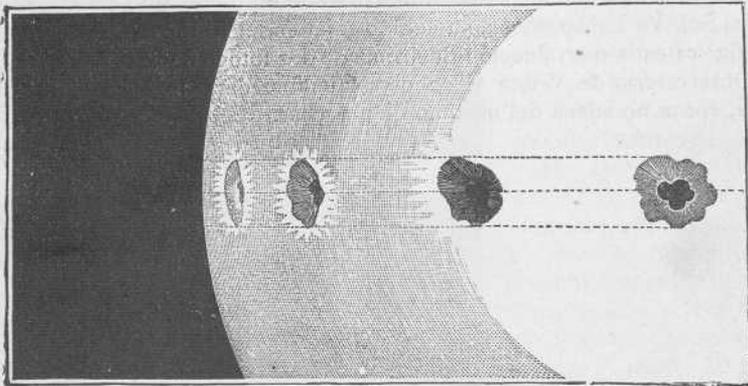


Fig. 12. - Cambios aparentes en la forma de una mancha solar

globo solar, según hemos podido ver en el pasaje de su obra que hemos extractado.

Provistos ya de nuestro anteojó y aparato de proyección, podemos asegurarnos por nosotros mismos de la realidad de este movimiento; aguardemos á que una mancha asome por el borde oriental, que en la pantalla, y volviendo la espalda al Sol, será el de nuestra derecha; aparecerá casi como una línea, de forma elíptica, y su diámetro vertical será mucho mayor que el horizontal; de día en día irá aproximándose al centro del disco y adquiriendo una figura sensiblemente circular; al cabo de siete días ocupará el centro, empezando entonces á caminar hacia el borde opuesto ú occidental, por donde desaparecerá después de otros siete días, reproduciéndose el anterior fenómeno de acortarse el diámetro transversal. En atravesar el disco habrá empleado la mancha unos 14 días; estará ausente un período de tiempo igual, y si persiste, reaparecerá en el borde del Este. La fig. 12 hará comprender fácilmente el diverso aspecto de la mancha, al encontrarse en el centro ó en los bordes. Su velocidad al cruzar el disco no

habrá sido tampoco uniforme, moviéndose con más lentitud en la proximidad de los limbos que al hallarse en el centro (fig. 13); estos cambios son debidos á un simple efecto de perspectiva, en virtud del movimiento de rotación del Sol sobre su eje, lo cual comprenderemos fácilmente con auxilio de la fig. 14, que es una copia de un dibujo de Scheiner de las trayectorias de dos manchas observadas del 2 al 14 de marzo de 1627.

Las dos líneas K K, L L representan la proyección de la eclíptica sobre el disco solar al principio y al fin de las observaciones; A B es un paralelo celeste; C D, el círculo de declinación; como Scheiner observaba con un anteojo de Galileo, que da las imágenes directas, aparecían invertidas en la proyección, y por lo tanto las manchas entran por el Oeste y desaparecen por el Este; las líneas de puntos indican que aquel día no pudo observarse por el estado del cielo, y el valor de la curvatura de las trayectorias podemos deducirlo fácilmente de sus cuerdas; en la figura se

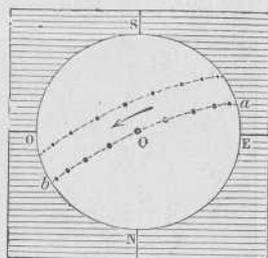


Fig. 13. - Movimiento aparente de las manchas, del borde oriental al occidental.

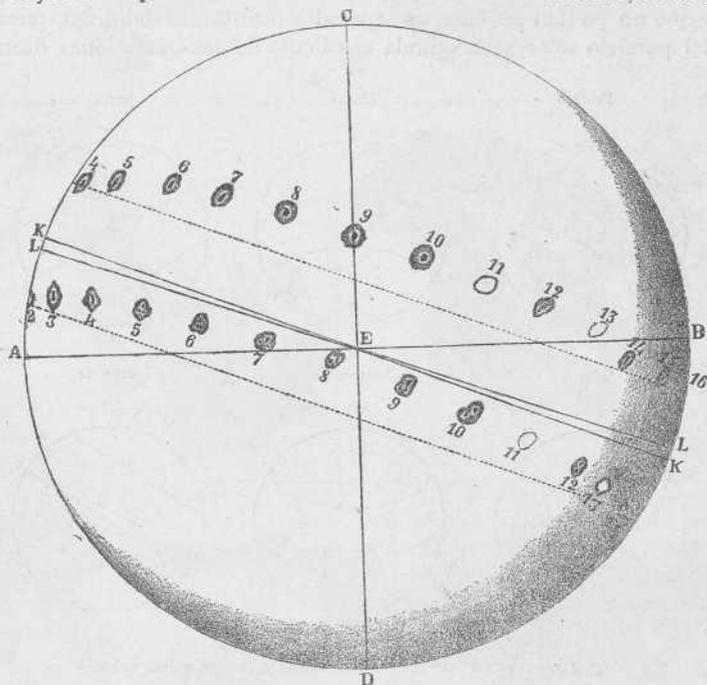


Fig. 14. - Trayectorias de dos manchas solares observadas por Scheiner en 1627

manifiesta con toda claridad que las manchas no han recorrido espacios iguales en tiempos iguales; pero esta diferencia no es real, sino sólo aparente; en efec-

to, á nuestros ojos el movimiento ha parecido verificarse en un plano, lo que no es cierto, pues ha tenido lugar sobre un círculo paralelo al ecuador solar, que proyectamos sobre un plano perpendicular al rayo visual. Esto se verá con

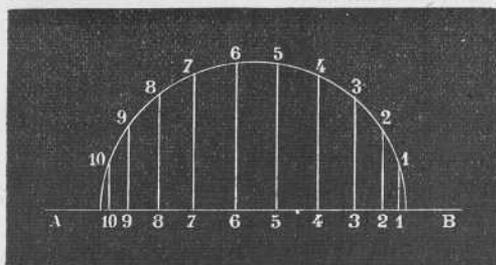


Fig. 15. - Velocidad aparente de las manchas:
proyección del ecuador solar

más claridad por medio de la fig. 15; tracemos una semicircunferencia y dividámosla en cierto número de partes con una misma abertura de compás, y de cada división bajemos perpendiculares al diámetro A B, que queda de esta suerte dividido en partes desiguales, que son las proyecciones de arcos iguales entre sí, y tanto más pequeñas, cuanto más se aproximan á las extremidades del diámetro. Por este método demos-

tró Galileo que las manchas debían estar situadas precisamente en la periferia solar, y que no podían ser cuerpos separados ó distantes del disco, pues sólo el radio del paralelo solar se acomoda al cálculo de las traslaciones diurnas; las

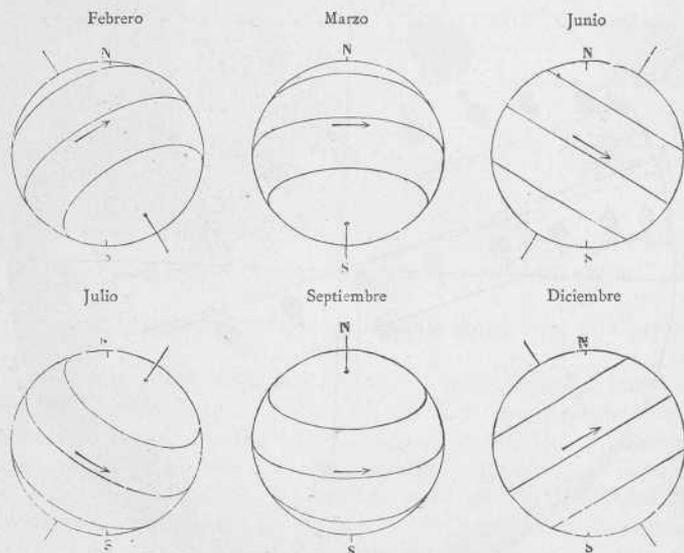


Fig. 16. - Formas de las trayectorias de las manchas solares

comparó primero á las nubes, opinión que abandonó más tarde; Scheiner, después que dejó de considerarlas como planetas, pensó que fueran cavidades.

Sin dar ahora la explicación del fenómeno, nos conviene decir que las tra-

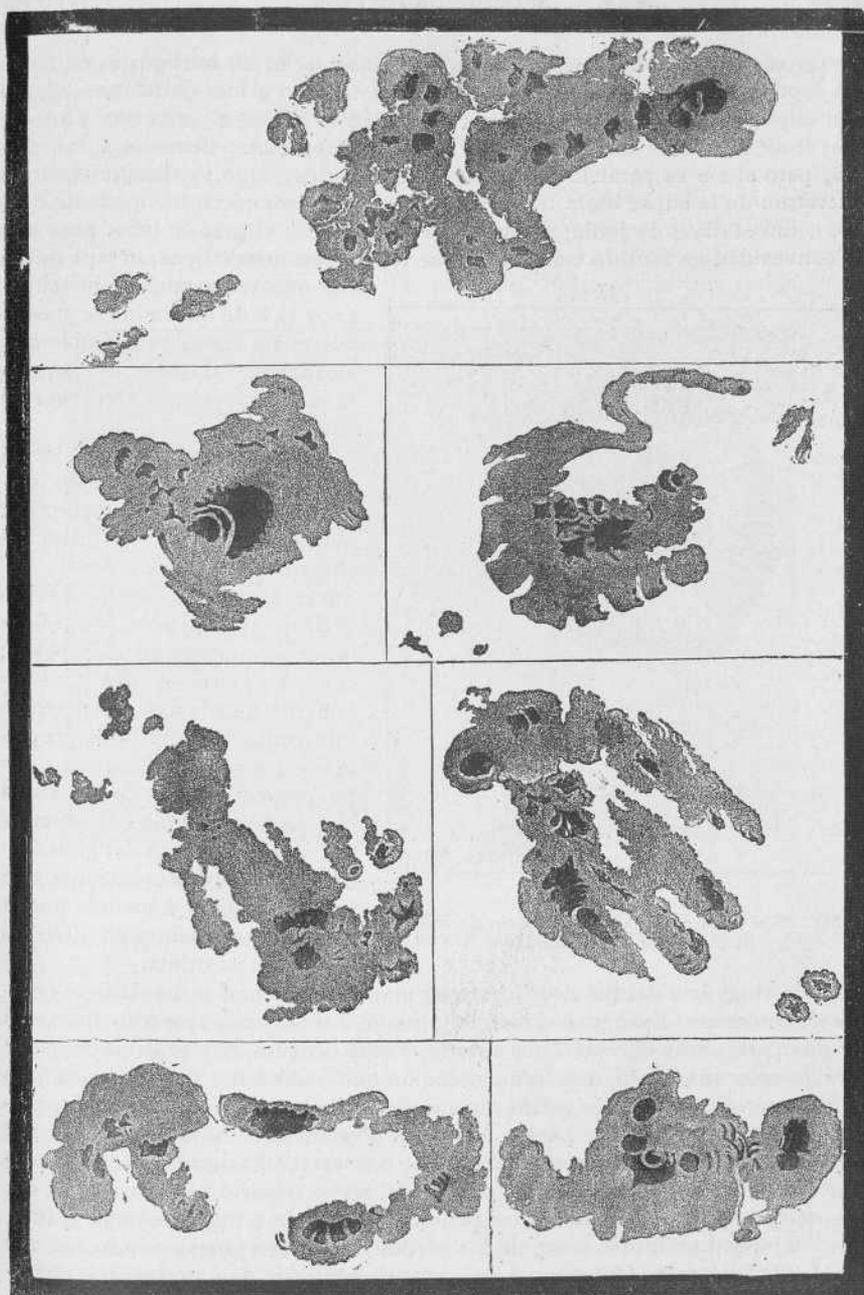


Fig. 17. - Manchas solares observadas y dibujadas por J. Herschel

vectorias descritas por las manchas sobre el disco solar no son iguales en todas las épocas del año y que varían con las estaciones. En el mes de febrero (fig. 16) son elipses muy prolongadas, cuya concavidad se dirige al polo Sur, y su eje mayor se encuentra inclinado sobre la eclíptica; en marzo tienen la misma forma, pero el eje es paralelo al plano de la eclíptica; luego va disminuyendo la curvatura de la elipse hasta transformarse en una línea recta, inclinada de nuevo, como el día 4 de junio; vuelven á presentarse las elipses en julio, pero con la convexidad en sentido contrario al que tenían seis meses antes; en septiembre

son otra vez paralelas á la eclíptica, y el 8 de diciembre se presentan como líneas rectas oblicuas, alcanzando al cabo del año la misma posición que en el mes de febrero.

Estas variaciones en la forma de las trayectorias se deben también á un efecto de perspectiva; pues, en realidad, las manchas describen líneas paralelas al ecuador solar, que forma con la eclíptica un ángulo de $7^{\circ} 15'$, según las observaciones de Carrington; como la Tierra cambia constantemente de situación respecto de este ecuador, y nosotros proyectamos los paralelos sobre un plano perpendicular al rayo visual que pasa por el ojo del observador y por el centro del globo solar, tienen las proyecciones que variar de forma á medida que la Tierra se encuentra en diversos puntos de su órbita.

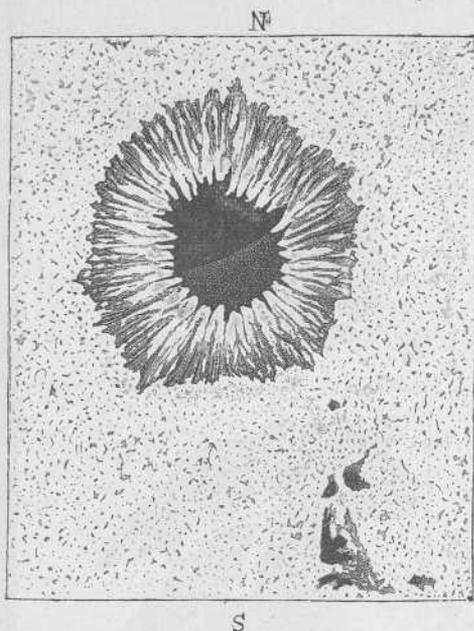


Fig. 18. — Gran mancha solar de junio de 1887, dibujada por el Sr. Landerer

A la superficie del Sol donde se presentan las manchas, se ha dado el nombre de fotosfera. Examinadas con un antejo ó telescopio, aparecen formadas de dos partes muy distintas: una interior y muy oscura, que se llama *núcleo*, y otra de color más claro, que forma como un anillo alrededor de la primera y es la penumbra (fig. 18); los astrónomos ingleses llaman *umbra* al núcleo, reservando este último nombre para la parte más oscura y central que lo forma. Las figuras del grabado adjunto (fig. 17) hacen ver esta diferencia; sobre el fondo oscuro se distinguen unos espacios negros, como pozos ó agujeros; estos son los núcleos, y las partes claras las penumbras; el tono ó color de estas últimas no es tampoco uniforme; cerca de los bordes exteriores es más oscuro, sin que pueda atribuirse este fenómeno á un efecto de contraste debido al brillo extraordinario de la superficie solar ó fotosfera; tiene una existencia real, y para convencerse de ello, basta examinar la fig. 19.

Además de estas manchas, que podemos llamar opacas, hay otras brillantes que han recibido el nombre de *fáculas*; por lo general, son más visibles en las inmediaciones de los bordes del Sol, y muchas veces también acompañan á las manchas opacas; cuando se encuentran cerca del limbo, tienen el aspecto de copos blanquísimos de algodón, y fueron observadas por primera vez por Galileo, que contestando á los que suponían que fuesen planetas, decía, con razón, que era absurdo creer que hubiese inmediatos al Sol cuerpos más brillantes que el Sol mismo. Las fáculas se asemejan en ocasiones á ríos ó torrentes de materia brillante, que convergen hacia las manchas, rodeándolas por todos lados

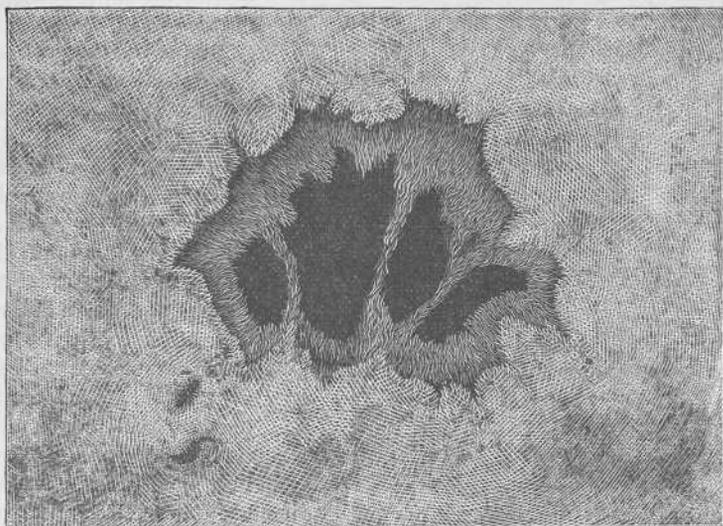


Fig. 19. — Mancha solar observada por Nasmyth: tinte desigual de la penumbra

(fig. 20); forman también, en algunos casos, como una aureola alrededor de las manchas opacas (fig. 21.)

La fotosfera parece perfectamente lisa y uniforme, cuando se examina con un antejo de mediano poder óptico; pero empleando instrumentos de gran abertura y aumento, cambia de aspecto, y vemos que no sólo en las manchas se manifiesta la actividad solar, sino que en toda la superficie hay pruebas de su energía. Se presenta como un mar de materia inflamada, turbulento y agitado, surcado por infinitas rayas oscuras y luminosas, que se cortan en todos sentidos. La fig. 22, dibujada por el P. Secchi, representa una parte del disco solar, proyectada con un poderoso ocular sobre un papel blanco.

Las fáculas llegan á ocupar algunas veces una extensión considerable, si bien entonces son más débiles; mejor que en el antejo se observan por proyección, debiendo cuidarse con esmero de que no entre en el cuarto dispuesto para las observaciones más luz que la que atraviesa el objetivo; de esta suerte se perciben los menores detalles de la superficie solar; el aspecto marmóreo del cen-

tro del disco exige, para verse de un modo distinto, condiciones atmosféricas ex-

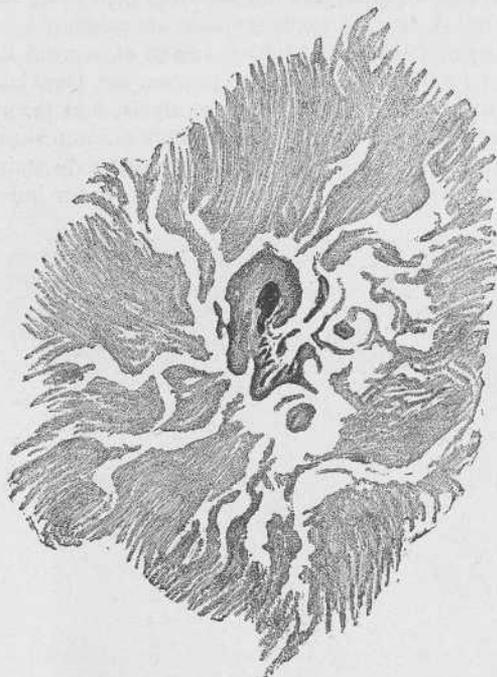


Fig. 20. - Manchas opacas y fáculas

cepcionales, y por no haberse tomado las precauciones necesarias se ha tardado tanto en conocer ciertas particularidades de la fotosfera; para estudiarla mejor, conviene en ciertos casos observar el Sol directamente, empleando oculares de gran fuerza, provistos de modificadores á propósito; los vidrios de color de que hemos hablado hasta aquí, son muy convenientes para los anteojos y telescopios de pequeño diámetro; pero en los grandes instrumentos es tan elevada la temperatura de la imagen focal, que se funden y quiebran; disminuyendo la abertura del objetivo por medio de diafragmas, se evita esto en parte, pero en parte también se pierden las ventajas de los telescopios poderosos, turbándose al mismo tiempo la pureza de las imágenes; por esta razón usaba Hers-

chel cristales muy oscuros, sin reducir el diámetro de su telescopio; trató asimismo de emplear modificadores líquidos, compuestos de una mezcla de tinta y

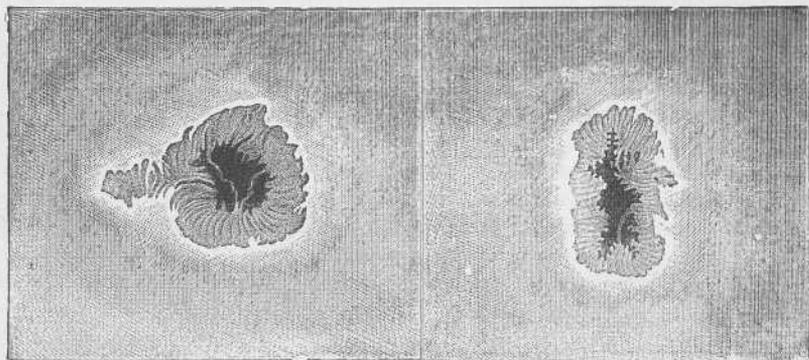


Fig. 21. - Fácula alrededor de la penumbra del Sol

agua; pero la elevación de temperatura producía en la masa corrientes ascendentes y descendentes, que perjudicaban grandemente á la pureza de la imagen.

Construyen los ópticos una clase de modificadores de vidrios de color, que se llaman *helioscopios*, compuestos de dos prismas de cristal superpuestos, blanco el uno y el otro azul, como se ve en la fig. 23; no se pegan con ninguna substancia, porque el calor la hincharía, produciendo deformaciones en la imagen; la luz del sol es más débil cuando atraviesa el prisma de color más cerca de su base; en S' E' es más brillante que en S E; este vidrio graduado puede montarse en un bastidor de corredera delante del ocular y modificar á placer la intensidad de la luz.

Los mejores helioscopios que se conocen hoy día son los llamados polarizadores, cuyo invento se debe al P. Cavalleri de Monza; en principio pueden compararse á los propuestos por Herschel, salvo la diferencia del ángulo que forman los rayos incidentes.

En los helioscopios polarizadores propiamente dichos, la luz se refleja bajo un ángulo de 36° , que es el de la polarización en el vidrio; después de varias reflexiones se recibe la imagen en un ocular, de tal suerte dispuesto, que al girar vaya cambiando el ángulo que forman entre sí los espejos, y disminuya la luz hasta que pueda contemplarse la imagen con comodidad.

Analizada la fotoesfera con uno de los oculares que acabamos de describir, presenta, como hemos dicho, un aspecto rugoso, una sucesión de puntos de iguales dimensiones, pero de muy diversa forma, aunque predomina la elíptica, separados unos de otros por espacios muy oscuros, sin ser precisamente negros; el P. Secchi dice que puede tenerse una idea de la estructura de estas granulaciones de la fotoesfera, observando en el microscopio una gota de leche desecada, cuyos glóbulos hayan perdido un poco la regularidad de su forma. Estas observaciones son muy difíciles de hacer, porque exigen condiciones atmosféricas excepcionales y porque hay que aprovechar los primeros momentos favorables, antes que el objetivo y el aire contenido en el antejo se caldeen. Los espacios oscuros de las granulaciones se llaman poros ó *lúculas*, y á diferencia de las manchas, se observan en toda la superficie del

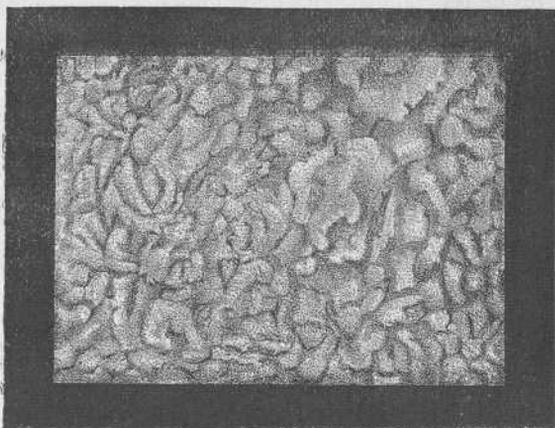


Fig. 22. — Estructura de la fotoesfera

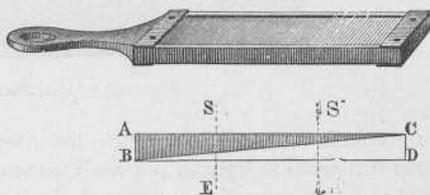


Fig. 23. — Helioscopio de bisel

disco; los granos ó puntos brillantes suelen aglomerarse algunas veces, y entonces forman grupos de materia más luminosa, apareciendo como suspendidos sobre el fondo rugoso de la fotosfera. En la fig. 24, que representa un dibujo del célebre astrónomo inglés W. Huggins, se distinguen perfectamente los caracteres de las granulaciones de la fotosfera, nombre que les dió este mismo astrónomo.

Cerca de las manchas, y principalmente en la penumbra, cambia de un modo

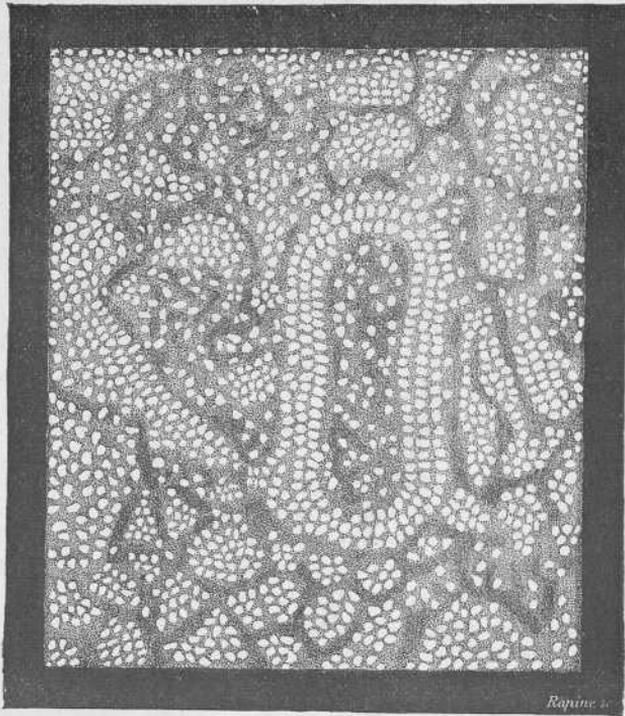


Fig 24. - Granulaciones de la fotosfera

notable la forma de los granos; los intersticios ó poros se ensanchan, y los puntos brillantes se aguzan por ambos extremos. Varios astrónomos han observado estos fragmentos ó porciones brillantes, y les han dado los nombres de las substancias terrestres á que más se asemejan por su aspecto. Nasmyth dice que son como hojas de sauce; Stone, como granos de arroz; Dawes, como briznas de paja, y otros observadores las comparan á puntos de admiración (!), semejanza por todo extremo exacta. En la figura 25, dibujada por Nasmyth, se puede ver la diferencia de estructura de las granulaciones de la fotosfera y de las hojas de sauce de la penumbra de las manchas; en el espacio que separa las dos manchas superiores están las hojas de sauce como amontonadas unas sobre otras y cruzándose en todos sentidos, mientras que en los bordes del núcleo



Fig. 25. —Granulación de la fotosfera y hojas de sauce de la penumbra, según las observaciones de Nasmyth

forman filas ó líneas convergentes, como si moviéndose en más sitio, fuesen impulsadas por alguna corriente hacia el interior de la mancha.

La causa de este aspecto, supone el Dr. Scheiner que sea la misma que en la Tierra, según la teoría de Helmholtz, da lugar á la formación de ciertas clases de nubes; esto es, la diferencia de temperatura de dos capas ó estratos y las corrientes de varias direcciones en estos estratos. Los granos brillantes de la fotosfera son las cimas ó crestas de las ondas de dos sistemas que se cruzan, visibles por un aumento de condensación; la longitud observada, esto es, la distancia entre los granos separados, es de 1.000 á 3.000 kilómetros, y se cree que ondas de esta magnitud pueden producirse, sin que haya que suponer la existencia de velocidades extraordinarias. Si esta teoría fuera cierta, la fotosfera debería ser muy delgada, y puesto que los gránulos son próximamente del mismo tamaño en todas partes de la superficie, la velocidad de las corrientes sería igual ó poco menos en todas las latitudes heliocéntricas.

Las dimensiones de los granos ú hojas de sauce son de $\frac{1}{4}$ ó $\frac{1}{2}$ de segundo; pero debemos advertir que no se pueden medir individualmente con el micrómetro y que sólo se les compara con los hilos de éste; Langley opina que, además de los granos á que nos hemos referido, hay otros aún más pequeños. En las proximidades de las manchas hemos visto que son más perceptibles las hojas de sauce, y aunque pierden algún tanto su forma por la amplificación, pueden medirse directamente.

Los granos ocupan una extensión de 200 á 300 kilómetros y su luz no es uniforme, antes al contrario, su superficie presenta grandes irregularidades; sus movimientos son también muy sensibles, aunque difíciles de determinar por la masa brillante de la fotosfera; en las inmediaciones de los poros se les ve moverse y cambiar de forma, llegando á veces, en el espacio de media hora, á cerrar por completo cavidades de algunos segundos de diámetro, y ya sabemos lo que un segundo representa en el globo solar.

CAPITULO III

Formación de las manchas. — Su nivel. — Del núcleo ó umbra

Los primeros astrónomos que observaron las manchas solares, ya notaron la rapidez con que se verifican los fenómenos en la superficie del Sol. Scheiner vió que el movimiento de la penumbra hacia el núcleo transformaba rápidamente el contorno de las manchas; á Galileo le sorprende la prontitud con que las manchas nacen, se transforman y se extinguen, y dice «que no son permanentes, que se condensan, se dividen, se agrandan y desaparecen.» Derham refiere que el 29 de octubre de 1706, una mancha negra apareció y desapareció varias veces en el centro de una fácula brillante; en otra ocasión, sin separar la vista del ante-ojo, presencié deformaciones y cambios muy notables. En una memoria publicada por Wollaston en 1774, dice que vió casualmente cómo se rompió una mancha, y compara el aspecto de este fenómeno al que se produciría arrojando un pedazo de hielo sobre la superficie de un estanque congelado; el pedazo de hielo se rompería y los fragmentos se deslizarían en todas direcciones. Herschel ha presenciado también cambios, de una extensión considerable, en las fáculas.

Estas observaciones son difíciles de hacer por varias causas; de una parte, no podemos ver más que la mitad del globo del Sol, y eso durante algunas horas del día, suponiendo la atmósfera clara y despejada; de otra, la rotación del astro nos oculta la mancha durante 14 días, en los cuales puede sufrir tales transformaciones, que nos sea imposible de todo punto reconocerla cuando reaparezca; sin embargo, la perseverancia de los astrónomos ha vencido todos estos obstáculos, y hoy día poseemos bastantes datos sobre la formación de estas maravillosas manifestaciones de la energía solar. No podemos decir, á pesar de esto, que exista, ó se haya descubierto al menos, una ley del tiempo que necesita una mancha para formarse; unas nacen con gran lentitud, por dilatación de los poros, y otras se presentan de improviso, si bien, observando el Sol diariamente con escrupulosidad, puede preverse su aparición, que por rápida que se manifieste, no debe llamarse instantánea.

El primer indicio de las agitaciones de la fotosfera es, por lo general, la aparición de algunas fáculas muy brillantes, á las que siguen uno ó varios poros, y también la presencia de grupos de puntos negros, parecidos á las crestas de las rocas que el mar descubre en su reflujo; los poros están dotados de gran movilidad; cambian de lugar, desaparecen y se reproducen, hasta que finalmente llegan á formar una gran abertura; al principio, y cuando las manchas carecen aún de forma regular, no suelen tener penumbra, desarrollándose ésta poco á poco, según que la mancha va creciendo; entonces toma el aspecto que representa la fig. 19. No siempre se encuentra la superficie solar en el estado de tranquilidad que hemos supuesto; antes al contrario, más frecuente es observarla

sufriendo grandes evoluciones y ver aparecer las manchas en medio de movimientos complejos y tumultuosos. El Sr. Comas observó en Barcelona, en junio de 1891, las curiosas modificaciones que sufrió una mancha solar, desde su nacimiento hasta su desaparición, en el breve espacio de cuarenta y ocho horas, representadas en las seis secciones de la figura 26. El 25 de junio, á las 6^h de la tarde, se inició la perturbación de la fotosfera, apareciendo los puntos oscuros que se ven en la sección primera; catorce horas después, esto es, á las 8^h de la mañana del día siguiente, ya se había desarrollado el grupo de manchas (n.º 2) con sus núcleos, penumbras, puentes luminosos y torrentes de materia fotosférica en movimiento; dos horas después (n.º 3) sigue el trabajo de las



Fig. 26. — Las transformaciones de una mancha solar, observadas por el Sr. Comas en Barcelona en junio de 1891

fuerzas gigantescas y la mancha tiende á regularizar su forma, que alcanza, al fin, á las 3^h 30^m de la tarde (n.º 4), empezando desde este momento su tendencia á la disolución y fraccionamiento, como se ve en los números 5 y 6, que corresponden á las 10^h 40^m de la mañana y á las 6^h de la tarde del día 27.

Las manchas no sólo cambian de forma en un corto espacio de tiempo ó durante una revolución del Sol, sino que también varían las distancias que las separan entre sí, de suerte que están animadas de un movimiento propio; esto se verá con más claridad examinando la fig. 27, en la que el disco de la izquierda representa el aspecto del Sol al principiar una rotación; se distinguen cuatro grupos de manchas A, B, C, D; veintiocho días después, las mismas letras marcan en el disco de la derecha las posiciones ocupadas por las manchas, posiciones que varían grandemente de las anteriores; las variaciones ocurridas en su forma las podemos apreciar con auxilio de la fig. 28, que representa los detalles de los grupos A y B, al principio y al fin de la rotación; la primera, que es la superior, ha adquirido en el transcurso de estos veintiocho días, una forma circular, desvaneciéndose en gran parte las pequeñas manchas que la acompañaban; la segunda casi se ha disuelto por completo, fraccionándose en varias cavidades.

Hemos hablado ya de la multiplicación y división de las manchas; pero también ocurre que varias de ellas se funden y reúnen en una sola, por disolución de la materia luminosa que las envuelve; lo más general es que, cuando de un núcleo primitivo se forman varios secundarios, estén separados por los puen-

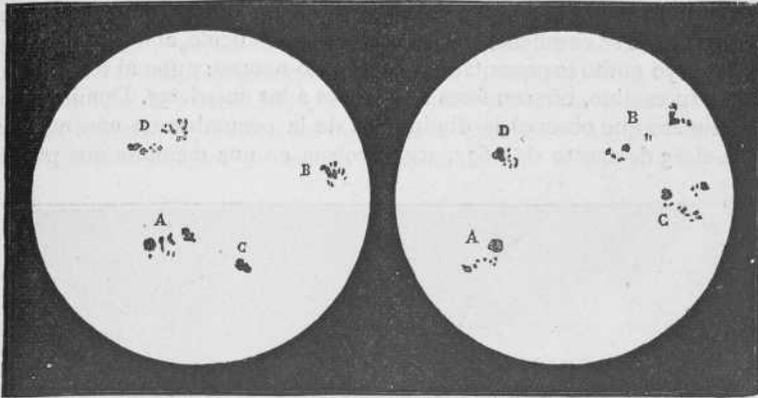


Fig. 27. - Movimiento de las manchas solares en el intervalo de una rotación

tes brillantes que hemos descrito (fig. 19); sucede asimismo que los puentes se presentan y extienden con tanta prontitud, que parece que el núcleo se rompe; su brillo es extraordinario, comparable y aun superior á las partes más luminosas de la fotosfera.

Por lo que llevamos expuesto se comprende que las manchas son fenóme-



Fig. 28 - Transformaciones de las manchas en el intervalo de una rotación

nos muy complejos, que no tienen lugar meramente en la superficie del Sol, sino que extienden su acción á las regiones interiores del globo, produciendo trastornos considerables en toda su masa, por causas que todavía no conocemos; hay ocasiones en que la agitación de la fotosfera es tan grande como la cuarta

parte del diámetro solar. Para estudiar con algún fruto estas manifestaciones, debemos muy particularmente examinar el fenómeno en sí mismo, establecer distinciones y clasificaciones y tratar de inquirir las leyes que presiden á su formación.

Hemos visto (pág. 20) que las manchas sufren varias transformaciones al cruzar el disco del Sol; que aparecen en el borde oriental como una línea que progresivamente se ensancha, convirtiéndose en un círculo, al llegar al centro del astro, en cuyo punto se presentan en su aspecto natural; y que al recorrer la otra mitad de su camino, ofrecen fases semejantes á las anteriores. Domingo Cassini fué el primero que observó la disminución de la penumbra en una mancha estudiada el 13 de agosto de 1671, según consta en una memoria que presentó á

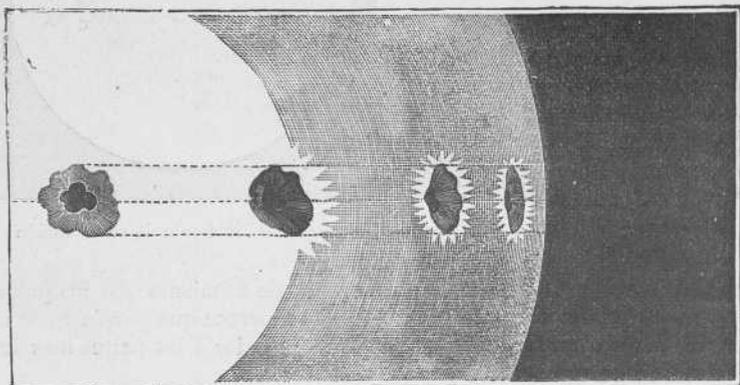


Fig. 29. — Cambios de forma de las manchas solares

la Academia de Ciencias de París; dice así: «La disminución del ancho de la penumbra era proporcional al decrecimiento de la velocidad aparente, de suerte que, cuando la corona (la mancha) estaba en medio y en situación en que su figura verdadera podía verse mejor, aparecía ovalada y semejante á una oreja humana, siendo mayor su diámetro de Este á Oeste, acortándose al estar cerca del limbo; y habiéndose presentado mayor en su primera situación, vino á ser menor en ésta, porque se hallaba casi en un círculo que pasaba por el centro del Sol, cuyos arcos iguales son tanto más oblicuos, cuanto más se aproximan al limbo de su disco, y por lo tanto, aparecen menores en conformidad con las leyes de la óptica; al mismo tiempo, el diámetro que se dirigía del Norte al Sur conservó aparentemente el mismo espesor que tenía en el centro, porque se hallaba en un círculo casi paralelo al horizonte del Sol, que forma la representación de su limbo y cuyos arcos iguales (por las mismas razones ópticas) no aparecen contraídos.» Santiago Cassini, ó Cassini II, observó una mancha en el mes de diciembre de 1719, tan grande, que cuando estuvo cerca del borde, produjo una excavación, fenómeno que no ocurre con las manchas pequeñas, antes al contrario, presentan unas eminencias producidas por las fáculas que las rodean. El Dr. Wilson emprendió en el siglo pasado un estudio detenido de las manchas

solares, observándolas é interpretándolas de un modo verdaderamente científico; dedujo que eran *cavidades* producidas en la fotosfera, y que el nivel del núcleo era inferior al de la periferia solar; el 22 de noviembre de 1769 se presentó cerca del borde occidental una gran mancha visible á la simple vista y cuyo aspecto cambió de un modo notable de día en día. La penumbra, que el día anterior ocupaba una extensión igual en ambos lados del núcleo, estaba mucho más contraída en la parte inmediata al centro del disco, mientras que la región opuesta conservaba las mismas dimensiones que tenía al aparecer; el día 24 la distancia al limbo era sólo de 24 segundos, y la penumbra contraída se había casi desvanecido. La anchura del núcleo del mismo lado disminuyó también de un modo más considerable y rápido de lo que permite suponer el movimiento del Sol.

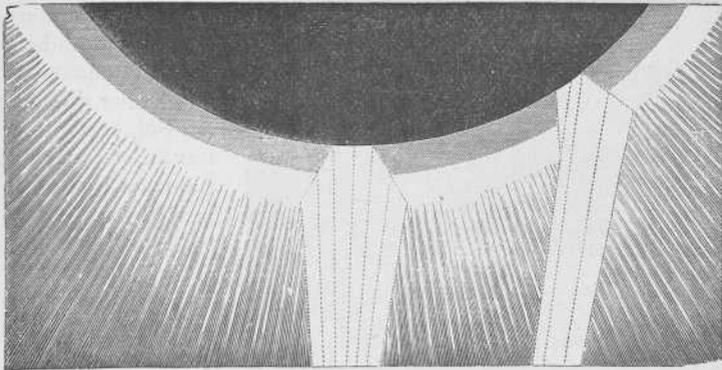


Fig. 30. - Explicación del cambio de forma del núcleo y de la penumbra, según las observaciones de Wilson

La fig. 29 nos hará comprender fácilmente estos cambios; la mancha situada en el centro del disco presenta una penumbra simétrica, con relación al contorno del núcleo; á medida que se aproxima al borde, por el movimiento de rotación del Sol, se estrecha la penumbra del lado del centro hasta que desaparece por completo; si las manchas son cavidades de forma cónica, de un diámetro más pequeño en el fondo que en la superficie, sus lados ó taludes representarán la penumbra, y el fondo, el núcleo; el talud próximo al limbo solar se verá siempre del mismo ancho, mientras que el opuesto lo irá cubriendo el borde mismo de la fotosfera, que ocultará paulatinamente el núcleo (fig. 30) hasta que la mancha desaparezca por completo. Mientras más profunda sea la cavidad, de un modo más sensible se manifestarán estas fases; pero si la mancha es superficial y hay una diferencia de nivel muy pequeña entre la fotosfera y el fondo de la caverna, no desaparecerá éste sino al encontrarse la mancha en el borde mismo del Sol, resultando la observación muy difícil; sin embargo, con buenos instrumentos, podría medirse la profundidad por las dimensiones relativas de la penumbra y en el momento en que pareciera tocar al núcleo. De este método se valió Wilson para determinar la profundidad de algunas manchas, que estimó igual á la tercera parte del radio terrestre. Varios astrónomos rechazaron

las ideas del doctor escocés respecto á la constitución de las manchas, entre ellos Lalande, que suponía que eran montañas, presentando las objeciones siguientes: que en varios casos no se había verificado la ley de Wilson; que otras veces se habían observado fenómenos completamente opuestos. A estas objeciones contestó Wilson victoriosamente; pero su respuesta está tan ligada con la teoría que lleva su nombre, sobre la constitución física del Sol, que no podemos presentarla aquí; nos ocuparemos más adelante de este asunto.

Los astrónomos posteriores á Wilson han observado muchas veces la forma de las manchas, y según los trabajos de Balfour-Stewart, de la Rue, de Secchi, de Lockyer y de Tacchini, de cada 100 manchas, 86 presentan el aspecto descrito por Wilson. Otro medio ideado por de la Rue para demostrar que las manchas son depresiones de la fotosfera, consiste en obtener dos fotografías del Sol, con un día de intervalo, en cuyo período todos los puntos de su superficie han descrito un arco de 15° ; y colocándolas en un estereoscopio, se distingue perfectamente la forma cónica de la mancha, el núcleo en el fondo y la penumbra formando la escarpa ó declivio. El P. Secchi se ocupó de un modo particular de este estudio,

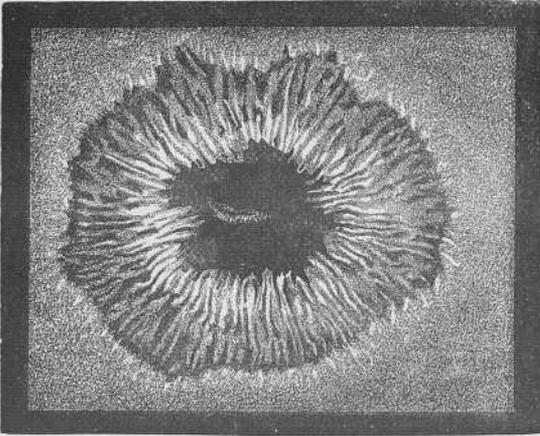


Fig. 31. — Radiaciones y corrientes de la penumbra

y comprobó la exactitud de las observaciones de Wilson; el 8 de julio de 1873 observó una gran mancha, que produjo en el contorno solar una depresión de 8 segundos. Para producirla de 1, necesitan tener 3 grados de diámetro, y á pesar de esta dimensión enorme, no sería visible la excavación; por otra parte, los montículos ó excrecencias originadas por las fáculas ocultan también la cavidad. Dice el P. Secchi que, para poder observarlas fácilmente, es necesario que la mancha que las produzca mida, al estar en el centro del disco del Sol, de 11 á 12 grados, que á nuestra vista serían $3' 20''$, y en este caso, la cavidad tendría unos 5 segundos; siempre que se presenta una mancha de estas dimensiones, se ha observado una depresión al estar en el borde; es verdad que este efecto pudiera ser producido por una ilusión óptica, debida á un contraste de luz entre la región ocupada por la mancha y el resto de la fotosfera; pero á esto contesta el P. Secchi que no hay que suponer que la cavidad esté vacía de toda materia, y que con la palabra *cavidad* sólo se quiere significar que, dentro de las manchas, el nivel de la parte brillante es más bajo que el de la fotosfera, y que la falta de luz que se nota cuando la mancha llega al borde, no prueba nada en contra de esta hipótesis. Suponía Wilson que la

materia que constituye la fotosfera es semejante á la de las nubes, si bien de mayor densidad, y que precipitándose en el interior de estos abismos, daba lugar á la formación de los declivos y taludes, dotados desde luego de menor poder luminoso que la superficie, pero de más brillo que el núcleo ó parte central: hecho comprobado por gran número de observaciones modernas. El padre Secchi, sin embargo, no cree que la inclinación del talud basta para explicar la menor intensidad luminosa de la penumbra.

Para estudiar ventajosamente la estructura interior de las manchas, conviene fijarse en una que se haya generado en lo que pudiéramos llamar período de



Fig. 32. — Gran mancha solar, el 10 de febrero de 1892. (Dibujo de E. Fontseré.)
(Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia.)

tranquilidad, pues entonces se presentan redondas ú ovaladas, conservándose así por algún tiempo, hasta que desaparecen arrastradas por el movimiento de rotación del Sol, ó bien se fraccionan y disuelven antes de llegar á los bordes. Dawes observó que en el interior del núcleo de las manchas regularmente formadas había una región más oscura, y valiéndose de un ocular de su invención, que excluía toda luz extraña, no sólo de la fotosfera, sino también de la penumbra, notó que el núcleo no era completamente negro, ni su oscuridad uniforme, y que presentaba un escaso brillo en las inmediaciones de la penumbra, debido tal vez á la reflexión de la luz de las capas brillantes que la rodeaban; en todas las manchas regulares ó simétricas, la *umbra* parece perforada en su centro por un agujero completamente negro, que es el que hay que considerar como verdadero núcleo. De otro lado, si se compara el núcleo con un planeta que se pro-

yecte sobre el disco solar, como en un paso de Mercurio ó de Venus, por ejemplo, se observa que la diferencia de tono ó color entre la mancha y el planeta es muy grande, y que el núcleo siempre es algo menos negro; si se examina el fondo del cielo á corta distancia del disco solar, donde aún llegue su atmósfera, se reconoce fácilmente que es más negro que el interior de las manchas. Galileo creía que la luz del núcleo, vista en la obscuridad, nos produciría la misma impresión que una parte de igual superficie de la fotosfera. El Director del Observatorio de Alleghany S. P. Langley, uno de los astrónomos más distinguidos de la América del Norte, ha hecho estudios comparativos sobre la canti-

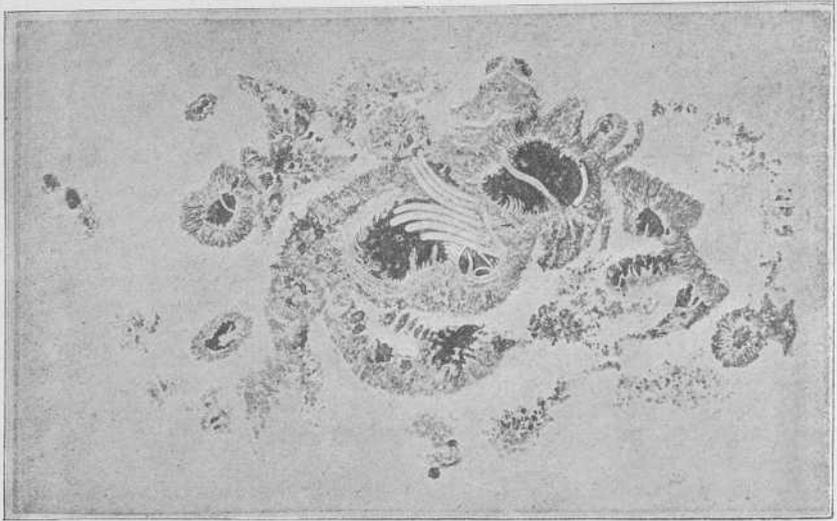


Fig. 33. — Gran mancha solar, 12 de febrero de 1892. (Dibujo de J. Comas.)
(*Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia.*)

dad de luz emitida por diferentes puntos del disco solar, deduciendo que las manchas son mucho más brillantes de lo que se cree por lo general; el núcleo más oscuro tiene aún una potencia luminosa 5.000 ó 10.000 veces superior á la de la Luna llena. Debemos suponer, pues, que en el interior de estas cavernas hay nubes ó vapores de distintas densidades.

Las manchas circulares presentan menos cambios que las que provienen de formaciones rápidas, pero también se observan á veces grandes trastornos en su interior; con instrumentos poderosos ha podido estudiar el P. Secchi que todas las variaciones están producidas por las masas fotosféricas que se precipitan en su interior, y por las corrientes de la penumbra, que á cada instante modifican su forma y aspecto. Las manchas que se desarrollan de improviso tienen una existencia muy corta; pueden ser superficiales, ó producidas por las fuerzas internas del Sol, en cuyo caso suelen durar más tiempo, pero sufriendo grandísimas perturbaciones y manifestando distintos períodos de actividad; hasta tal

extremo, que algunas que parecían desvanecerse han adquirido repentinamente grandes dimensiones, cambiando por lo general de situación. Hemos dicho ya que hay manchas que duran cuatro ó cinco revoluciones del Sol, y sucede á veces también que se forman otras nuevas en el mismo lugar ocupado por las que han desaparecido poco tiempo antes; estos fenómenos fueron observados por Cassini y Lalande en tiempos atrás, y por Carrington, Secchi y otros astrónomos en nuestros días.

La división ó segmentación de las manchas puede ser real ó aparente: en

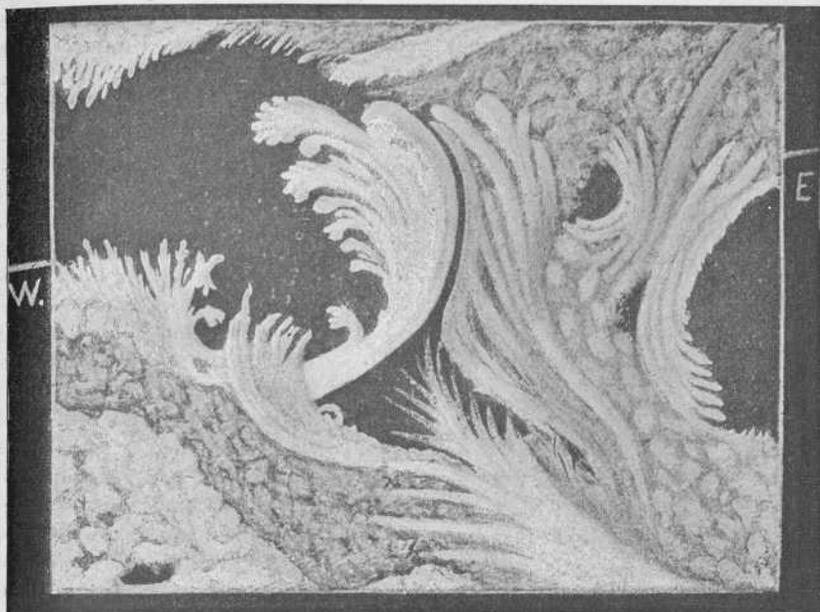


Fig. 34. — Gran mancha solar, el 13 de febrero de 1892. Detalles de la masa de materia brillante que separa los dos núcleos principales. (Dibujo de E. Fontseré.)

(*Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia.*)

el primer caso, se debe á la invasión de la materia luminosa, que separa el núcleo en varias partes; y en el segundo, á la aparición de un nuevo núcleo, que puede formarse en la proximidad de una mancha anterior. Los puentes que á veces se extienden de un lado á otro de la penumbra están dotados de un brillo igual al de la fotosfera, lo que demuestra que se hallan verdaderamente suspendidos sobre los cráteres ó cavidades. Generalmente, antes de desaparecer, disminuyen las dimensiones de las manchas, los núcleos se dividen ó se hacen cada vez más pequeños, hasta que, convertidos en puntos, llegan á ser invisibles, en lo cual se diferencian grandemente de los ciclones, que al ensancharse decrecen en intensidad, desapareciendo al confundirse con la masa de aire que los envuelve.

Si nos fijamos en la fig. 31, observaremos que la penumbra ocupa una extensión casi igual á la tercera parte de la mancha completa, y que ofrece un aspecto radiado irregular, semejante á torrentes que se precipitasen hacia el fondo de la cavidad; á medida que estas líneas ó radios se alejan de los bordes, presentan un brillo más considerable, y parecen menos condensadas y luminosas en la parte exterior de la penumbra, es decir, al arrancar de la fotosfera; mientras que en el interior, como observaron Herschel, Capocci y otros, se afilan y aguzan, aumentando su brillantez, hasta formar una especie de anillo que en nada cede al resplandor del resto de la superficie solar. Faye, astrónomo francés, ha puesto en duda este hecho observado por Secchi; pero el sabio jesuita sostiene su afirmación, y aduce como prueba á su favor que, en la mayor parte de los

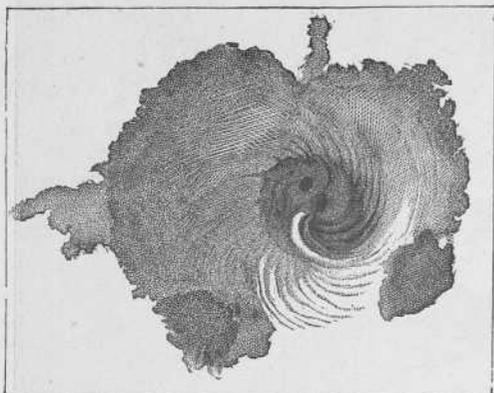


Fig. 35. — Mancha ciclónica observada por el P. Secchi el 5 de mayo de 1857

dibujos de manchas efectuados por varios observadores, se encuentra representado el anillo luminoso, sin que á nadie se haya ocurrido interpretarlo, ni fijarse en esta particularidad. A veces, también se nota en la penumbra un tinte opaco uniforme, sobre el cual se destacan, como puntos brillantes, las porciones de materia que en el ejemplo anterior formaban los radios ó corrientes luminosas de la fotosfera, y que en las manchas de grandes dimensiones y de formas irregulares se sueldan ó agregan unas á otras, hasta constituir una especie de cadena de espesor desigual, que atraviesa la cavidad en distintos sentidos (figura 32). Estos detalles y particularidades pueden verse perfectamente, en las figuras 32, 33 y 34, debidas á los astrónomos de Barcelona Sres. Fontseré y Comas. Representan una gran mancha solar, observada durante varios días del mes de Febrero de 1892. En la fig. 33 se distinguen las lenguas brillantes, sobre el núcleo obscuro, formando las corrientes luminosas de que hemos hablado, y en la fig. 34 aparecen las radiaciones con gran detalle, encorvándose hacia los núcleos á que cada una pertenece y modificándose en breve tiempo, como si la materia de que se componen fuese fluida y se deslizase á través de un medio de distinta naturaleza. Parece evidente que están animadas de un movimiento giratorio, como los torbellinos y tornados terrestres, con velocidades de 20, 30 y aun 40 leguas por segundo.

La fig. 35 representa un dibujo del P. Secchi de una mancha solar, en la que se distingue con toda claridad el movimiento espiral de la penumbra, más visible aún y en escala grandiosa en la fig. 37, que es una reproducción de la gigantesca mancha solar observada y dibujada por el Sr. Landerer el 8 de febrero de 1892. Esta mancha medía 115" de diámetro y era cerca de siete veces ma-

yor que la Tierra. Todas las corrientes de la penumbra se encuentran retorcidas é inclinadas hacia el centro, distinguiéndose un gancho de materia luminosa sobre el fondo negro del núcleo. Parece, pues, que en el centro de las manchas existe una fuerza de aspiración, capaz de atraer la materia que constituye la penumbra, haciéndola desahogar por el núcleo, explicándose de esta manera el poder atractivo de las manchas grandes sobre las pequeñas.

Fundándose en estos hechos, ha pretendido Faye establecer la teoría de que las manchas son ciclones y nada más; el P. Secchi no acepta esta hipótesis, pues todas las manchas no ofrecen el mismo aspecto, antes al contrario, el movimiento giratorio sólo se manifiesta durante el período de formación, ó en el de actividad, que precede á la desaparición definitiva; no es, pues, un fenómeno constante como debiera suceder, si fuese cierta la teoría de Faye; además, el movimiento en forma de torbellino dura muy poco tiempo, un día ó dos á lo sumo, y ya sabemos que las manchas persisten durante varias rotaciones del Sol. No se puede, por lo tanto, asentar sobre estos hechos, puramente accidentales, una teoría que explique de un modo general la estructura de las manchas solares. Hay

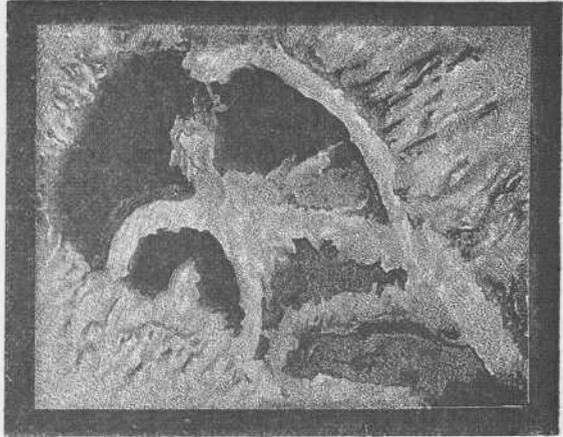


Fig. 36. - Velos rosas en el interior de una mancha

otras razones que presentar en contra de esta hipótesis; cuando las manchas se encuentran en su período de tranquilidad, las corrientes se dirigen hacia el centro, como hemos visto en los ejemplos anteriores; pero en las manchas dislocadas ó irregulares se notan á veces corrientes que forman entre sí ángulos rectos, lo que obliga á suponer que media entre ellas una notable diferencia de nivel; otro tanto podemos decir de los puentes luminosos que se extienden de un borde á otro de las manchas, y que no son más que corrientes suspendidas, en un medio fluido, á distinto nivel que el resto de la mancha ó cavidad, pues no es posible comprender de otro modo cómo estos arcos tan brillantes pueden presentar una dirección oblicua, relativamente á las corrientes inferiores. De los hechos anteriores deduce el P. Secchi que estos fenómenos no pueden tener lugar en un cuerpo sólido, sino que deben producirse en una masa fluida análoga á los gases, siendo la constitución de este medio comparable á las llamas ó á las nubes, y que no es la materia oscura la que invade la parte luminosa, sino al contrario, que las partes más brillantes son las que se extienden por las regiones oscuras, hasta el punto de que, en ocasiones, parece que nadan sobre las capas inferiores dotadas de menor brillo.

En el interior de las manchas se distinguen de cuando en cuando unos velos delgadísimos y transparentes, de color rosado ó violáceo; fueron observados por primera vez por Herschel, que creía que estas tenues capas de vapores formaban y constituían la penumbra, y no puede desconocerse que se hallan íntimamente ligadas con las hojas de sauce y las corrientes de la fotosfera; Dawes también se ocupó del estudio de estos detalles; pero al incansable P. Secchi, que tantas veces hemos citado, se deben los datos más importantes obtenidos sobre la constitución y aspecto de estas colgaduras solares. Suelen verse con frecuencia,

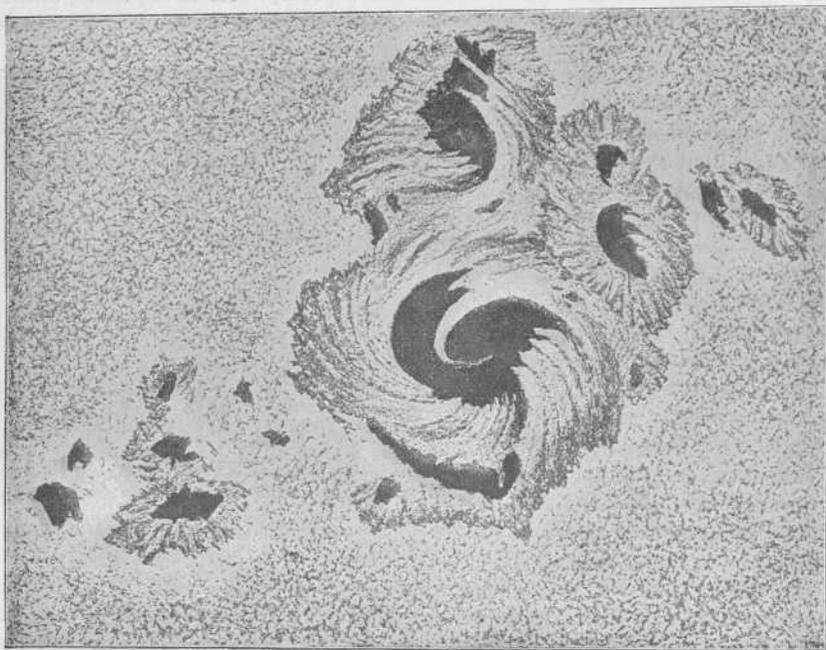


Fig. 37. - Mancha solar gigantesca, visible á simple vista. (Dibujo de J. Landerer)

(Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia)

y el que se haya tardado tanto tiempo en descubrirlas se debe á que los astrónomos han usado como modificadores vidrios teñidos, que desnaturalizan por completo la verdadera coloración de los cuerpos; en las manchas de grandes dimensiones, en su período de formación sobre todo, se distinguen los velos rosados empleando un ocular polariscópico de los que hemos descrito anteriormente; han pretendido algunos astrónomos atribuir el aspecto violáceo de estas capas transparentes á defectos de acromatismo de los instrumentos empleados; pero se presentan las nubes con unos contornos tan detallados y unas coloraciones tan distintas de las que produce la refrangibilidad sobre el fondo obscuro del núcleo, que es imposible confundir fenómenos tan diversos. La fig. 36, copiada

de un dibujo del P. Secchi, representa una mancha que apareció en el mes de febrero de 1866, y por su origen y desarrollo se ve que los velos rosados tienen una existencia real y que no dependen de ninguna ilusión óptica; la mancha era visible á la simple vista, semejando una inmensa caverna de forma rara y caprichosa, cruzada por varios puentes luminosos, sobre los que se extienden los velos rosas transparentes; uno de ellos, en forma de herradura, presenta en su centro una especie de fábula brillantísima; al día siguiente la mancha había sufrido una gran transformación, desapareciendo todos los detalles de la víspera y presentándose nuevos velos rojos y blancos, que ocuparon el lugar de las corrientes anteriores. Del estudio detenido y escrupuloso de estos fenómenos deduce el P. Secchi que las corrientes de materia luminosa se convierten á veces en velos coloreados, pues ha visto, en el espacio de algunos minutos, que las lenguas de fuego que surcaban el núcleo, adquirían el aspecto de velos y se disipaban rápidamente. Existen, por lo tanto, en el interior de las manchas vapores rojizos, comparables á las protuberancias observadas durante los eclipses totales de Sol, de las que hablaremos á su tiempo.

Para completar el estudio de las manchas, nos ocuparemos ahora de lo que ocurre á su alrededor: generalmente están acompañadas por copos ó porciones más brillantes de la fotosfera, que han recibido el nombre de fábulas; son difíciles de observar en el centro del disco, si se mira al Sol directamente; pero usando el aparato de proyecciones descrito en la pág. 18 y recibiendo la imagen del astro en la pantalla, pueden verse con comodidad. Las formas de las fábulas varían de un momento á otro, y manifiestan por la superficie que ocupan, superior casi siempre á la de las manchas opacas, que aquella región de la fotosfera es teatro de violentísimos trastornos interiores. En las manchas circulares ó de formación normal se extienden las fábulas en todos sentidos, como ramificaciones de un núcleo ó centro (fig. 21, pág. 26) y ocupan una superficie mucho mayor que la de la mancha propiamente dicha; en las manchas irregulares se las encuentra en todos sentidos y posiciones, y aun en el interior de los núcleos se las ve brillar á veces como porciones desprendidas de la fotosfera.

En los limbos del Sol se observan las fábulas con gran facilidad, formando una eminencia ó montículo blanquísimo; parecen copos de nieve ó de algodón, aspecto que puede ser producido por una ilusión óptica, á causa del menor brillo de la fotosfera. El P. Secchi se inclina á creer que sobresalen, en efecto, del nivel de la fotosfera, y así se explica su mayor brillo, puesto que tienen que atravesar un espesor menos considerable de la atmósfera absorbente; sin embargo, cuando nos ocupemos de las aplicaciones del espectroscopio al estudio del Sol, veremos que, en ocasiones, hay que suponerlas más brillantes que la fotosfera. Las fábulas preceden, por lo general, á la formación de las manchas, cubriendo otras veces el lugar que una mancha ha ocupado anteriormente; se ve, pues, que existe una relación estrecha entre estas dos clases de fenómenos; se presentan en toda la superficie del disco solar, hasta en los polos; pero lo más común es que no pasen de los 60 grados á uno y otro lado del Ecuador.

CAPITULO IV

Elementos del movimiento de rotación. — Trabajos modernos. — Movimientos propios de las manchas. — Períodos de las manchas

Hemos dicho en el capítulo segundo que á Fabricio se debe el descubrimiento del movimiento de rotación del Sol; determinar su período y la inclinación de su eje fueron los problemas de que se ocuparon Scheiner y Galileo en el siglo XVII; y posteriormente, casi todos los astrónomos han hecho algún trabajo con este mismo objeto. Dice Arago que difícilmente se encontrará un astrónomo que, al menos una vez en su vida, no haya tratado de determinar por observaciones directas los elementos de la rotación solar. El problema es de gran dificultad, pues sólo puede estudiarse por el movimiento de las manchas, y como antes hemos visto, éstas no son fijas, ni constantes, y están sujetas á infinitas transformaciones, de las que hablan detalladamente ya los primeros observadores.

Galileo en su *Diálogo* estima la duración aparente de la rotación del Sol en un mes lunar, aproximación muy grosera (*nello spazio quasi d'un mese*), y por largo tiempo supuso que el eje era perpendicular al plano de la eclíptica; en el *Diálogo* habla de la inclinación, pero sin asignarle valor alguno y sin mencionar tampoco la posición de los nodos ó puntos de intersección de la circunferencia del ecuador solar con la eclíptica. Scheiner, en su famosa *Rosa ursina*, fija la duración del movimiento entre veintiséis y veintisiete días, y coloca el polo de rotación del Sol á 7 grados del polo de la eclíptica. El movimiento de rotación del Sol se descubrió unos cincuenta años antes que el de los planetas Venus, Marte y Júpiter.

El movimiento giratorio que la observación de las manchas puede indicarnos, es tan sólo el de la superficie y de ninguna manera el de la masa interior; para eliminar el influjo que el movimiento propio de las manchas puede ocasionar, hay que tomar el promedio de las duraciones de la rotación de un gran número de observaciones de manchas, pues si observamos una sola, el error sería igual al movimiento propio. Con este objeto, se escogen manchas redondas, regulares y de formación tranquila, para evitar las dificultades que resultarían de los cambios de aspecto de los contornos de las manchas irregulares ó anormales, en las que sería imposible reconocer el punto observado, después de verificada una rotación solar. El tiempo necesario para que el Sol dé una vuelta sobre sí mismo, es menor que el de la rotación aparente, pues no debemos olvidar que mientras el Sol gira sobre su eje, la Tierra recorre su órbita alrededor de él y en el mismo sentido; si la Tierra estuviera fija, el tiempo que emplease una mancha, suponiéndola exenta de movimiento propio, en volver al punto donde la observamos por primera vez, y que pudiera ser el centro del disco, por ejem-

plo, marcaría precisamente cuánto había tardado el Sol en dar una vuelta sobre sí mismo; si la Tierra se moviese alrededor del Sol con la misma velocidad que este astro sobre su eje y fuese igual la dirección del movimiento, la mancha ocuparía siempre el mismo lugar y parecería inmóvil sobre el disco. Veamos ahora lo que sucede en realidad: supongamos que al principiar la observación se encontraba una mancha en el centro del disco, y que al cabo de cierto número de días ha vuelto á ocupar la misma posición aparente; habrá dado una vuelta completa y una fracción más, proporcional al camino que la Tierra ha recorrido en su órbita. Sea S el centro del Sol (figura 38), a una mancha vista en medio del disco por un observador T colocado en la Tierra; al dar el Sol una vuelta completa sobre su eje, describirá la mancha una circunferencia $a b a$; pero para que el observador la vea en el mismo lugar que antes, tiene que andar además el arco $a a'$, equivalente al recorrido por la Tierra de T á T' , arco cuyo valor angular es igual al de $a a'$; y como la velocidad con que la Tierra se mueve alrededor del Sol se conoce muy bien, fácilmente se deduce el valor del arco $a a'$. Por término medio, la duración real de la rotación solar es menor que la rotación aparente en unos dos días; estas observaciones son muy delicadas, pues un espacio, una porción de la superficie solar que mida á nuestros ojos un ángulo de un segundo, corresponde á un ángulo heliocéntrico de $5' 37''$ en el centro del disco, y á uno de 3° en la proximidad de los limbos.

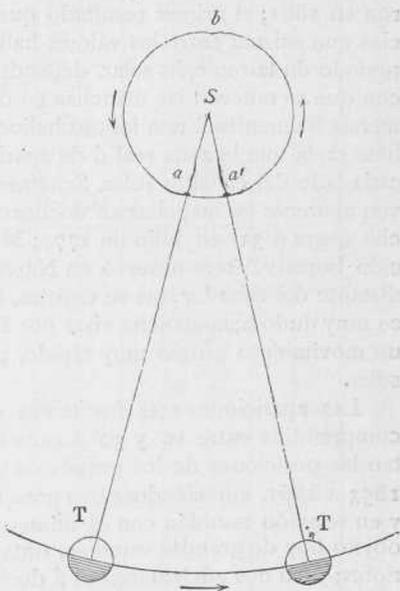


Fig. 38. — Rotación real y rotación aparente de una mancha solar

Los antiguos astrónomos evaluaban la duración de la revolución solar midiendo el tiempo que tardaba una mancha en volver á un mismo punto del disco, que podía ser el meridiano que pasase por su centro; método erróneo, pues la trayectoria descrita por la mancha está dividida en partes desiguales por el contorno aparente del Sol, que se llama también *horizonte de las manchas*.

Scheiner determinó que el período de la revolución sinódica ó aparente era de 27 días y el de la revolución sidérea ó real de 25 días y 8 horas; la posición del nodo la obtuvo observando las manchas en la época en que describen líneas rectas, pues en este caso el observador se encuentra en el mismo plano en que aquéllas se mueven, y dedujo que su longitud sería de 69 á 70 grados. Después de Scheiner hay que registrar las observaciones de Cassini y de Lalande, y sobre todo, las de Bianchini en 1718, en las que tuvo en cuenta el movimiento propio de las manchas; el período obtenido por este astrónomo es casi igual al que han hallado los observadores modernos.

La discordancia extraordinaria que existía entre los resultados de éstos indujo á Carrington á emprender una larga serie de observaciones, empleando métodos más perfectos. En el plano focal del objetivo de su anteojo colocó una cruz filar, formada de dos hilos de araña, inclinados 45° sobre el círculo horario, y proyectándola al mismo tiempo que la imagen del Sol, en la pantalla, observó el instante en que los limbos y las manchas venían á atravesar sucesivamente la sombra de los hilos.

Las observaciones de Carrington empezaron en el año de 1853 y concluyeron en 1861; el primer resultado que obtuvo fué demostrar que las discrepancias que existen entre los valores hallados por los primeros astrónomos sobre el período de la rotación solar, dependen de las diferencias reales en la velocidad con que se mueven las manchas en distintas latitudes; las manchas son también menos frecuentes á una latitud heliocéntrica superior á 30° ; ya sabemos que Galileo creía que la zona real ó de aparición de las manchas sólo se extendía 29° á cada lado del ecuador solar. Scheiner la amplió á 30° , pero en algunos casos se ven aparecer las manchas en declinaciones más altas. Messier observó una mancha negra á 31° en julio de 1777; Mechain en 1780 vió otra á 40° de declinación boreal; Peters observó en Nápoles una á los 50° de latitud, que es la más distante del ecuador que se registra, pues la observada por La Hire á 70° parece muy dudosa; la mancha vista por Peters era curiosísima por estar animada de un movimiento propio muy rápido, pero en sentido contrario al de la rotación solar.

Las apariciones más frecuentes de las manchas tienen lugar en una zona comprendida entre 10° y 30° á cada lado del ecuador; en la fig. 39 se representan las posiciones de los grupos de manchas observados por Carrington desde 1853 á 1861, apreciándose con gran facilidad su distribución según las latitudes y en relación también con el número de años; de este asunto importantísimo, objeto hoy de grandes estudios, trataremos detenidamente en las páginas posteriores; pero nos adelantaremos á decir que el número de manchas visibles en la superficie del disco solar es muy variable; hay años en que apenas se distingue una, y otros en que el Sol aparece casi cubierto de ellas.

Las manchas no se hallan repartidas igualmente á ambos lados del ecuador solar; Cassini y Maraldi creían que se formaban en mayor número en el hemisferio meridional que en el boreal; Arago no admite el hecho, y dice que ha consultado todas las Memorias publicadas desde 1707, sin distinguir ninguna preponderancia de las manchas meridionales sobre las septentrionales. Cassini creyó también que las manchas de los meses de mayo y junio ocupaban exactamente el mismo lugar que las manchas antiguas, y esta es también la opinión de Lalande, que dice: «Hay manchas considerables que aparecen en los mismos puntos físicos del disco solar, mientras que otras, igualmente notables, se muestran en puntos distintos.»

El P. Secchi admite que uno de los hemisferios presenta mayor número de manchas que el otro, y que los límites de aparición no son iguales á ambos lados del ecuador solar, pero existe una compensación en los períodos largos, y tomando el promedio de un gran número de años, la diferencia que se encuentra es muy pequeña.

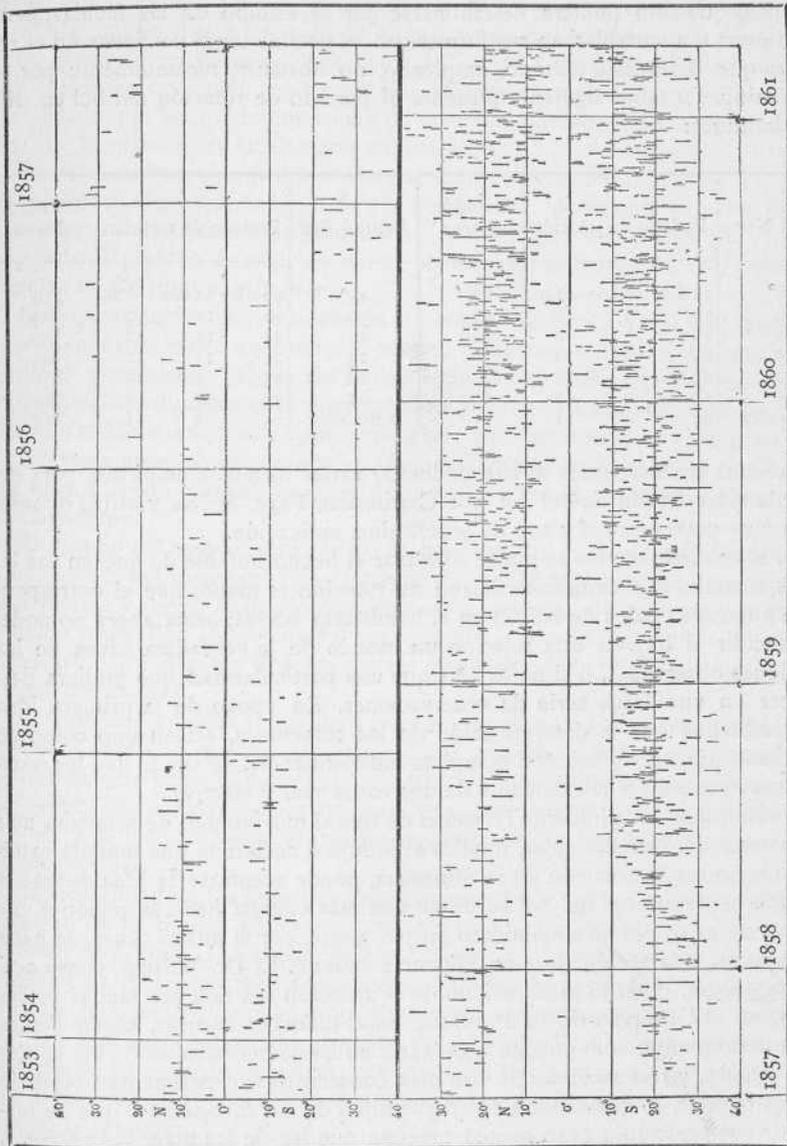


Fig. 39. — Distribución de las manchas solares según la latitud. Observaciones de Carrington

Como no se han observado nunca manchas situadas en una latitud superior á 50°, no se conoce la velocidad de la rotación del Sol en las inmediaciones de sus polos, que sólo pudiera determinarse por el estudio de las fáculas; pero siendo éstas tan variables en sus formas, no es posible tener confianza en el resultado que daría este método, empleado, no obstante, recientemente por el Dr. Wilsing. La tabla siguiente presenta el período de rotación del Sol en distintas latitudes:

| Latitud Norte | Período de rotación | Rotación diurna | Latitud Sur | Período de rotación | Rotación diurna |
|---------------|-----------------------|-----------------|-------------|----------------------|-----------------|
| 50° | 27 días 10 hor. 41 m. | 787' | 45° | 28 días 11 hor. 0 m. | 759' |
| 30 | 26 9 46 | 824 | 30 | 26 12 50 | 814 |
| 20 | 25 17 8 | 840 | 20 | 25 17 52 | 839 |
| 15 | 25 9 10 | 851 | 15 | 25 13 31 | 845 |
| 10 | 25 3 29 | 859 | 10 | 25 5 35 | 856 |
| 5 | 25 0 42 | 863 | 5 | 24 23 18 | 865 |
| o Ecuador | 24 2 11 | 867 | o Ecuador | 24 2 11 | 867 |

De estas observaciones se han deducido varias fórmulas empíricas para expresar la rotación diurna del Sol, por Carrington, Faye, Spörer y otros; diferencian muy poco entre sí y son de sencillísima aplicación.

En el cuadro anterior se puede observar el hecho notable de que en las latitudes australes el movimiento diurno de rotación es menor que el correspondiente á iguales grados de latitud en el hemisferio boreal; hasta ahora no podemos decidir si hay en esta relación un indicio de la verdadera causa de las variaciones observadas, ó si no es más que una particularidad que pudiera desaparecer en una larga serie de observaciones. En apoyo de la primera idea puede aducirse que la determinación de las rotaciones, así en uno como en otro hemisferio, se verificó con completa independencia, de suerte que los resultados parecen indicar la existencia de una causa real y efectiva.

Si admitimos la opinión de Herschel de que el movimiento de rotación, más rápido cerca del ecuador solar, implica el influjo ó acción de una materia externa que conserva la rotación de la fotosfera, puede aceptarse la idea de que la superficie septentrional del Sol se dirige con más energía hacia la región á que camina este astro por su movimiento propio, y que, por la misma causa, se halla más expuesta á la acción de esta influencia externa. El Dr. Wilsing, como acabamos de decir, determinó el período de la rotación del Sol, por medio de las fáculas, en el Observatorio de Potsdam. Estas manchas blancas, según hemos visto anteriormente, sólo pueden observarse en las inmediaciones de los bordes por lo común, y rara vez más de tres días consecutivos; experimentan también cambios rápidos, lo que unido á la irregularidad de sus formas hace que las medidas de sus posiciones sean menos precisas que las de las manchas oscuras. A pesar de estas dificultades, los resultados obtenidos por el Dr. Wilsing son bastante aceptables.

De las fáculas visibles en las fotografías solares obtenidas en Potsdam desde marzo á agosto de 1884, persistieron 144 grupos en tres ocasiones, con interva-

los de una ó más semirrotaciones. Disponiéndolas según su distribución en latitud, en zonas de 3° de ancho, se halla el mismo período de rotación para cada una de ellas desde +24° á -33°, siendo la diferencia respecto del movimiento angular medio diario tan sólo de 2' en exceso, en un solo caso, llegando la mayor parte de las veces no más que á 20" y 30". Como estas diferencias son tan pequeñas y no siguen ley, parece que, mientras que Carrington y Spörer han demostrado que las diferentes zonas de manchas poseen diferentes valores de rotación, la capa de las fáculas gira en una pieza.

La velocidad angular media diaria que dan las fáculas es de 14° 16' 11" 3, correspondiente al período sidéreo de 25^d 5^h 28^m 12'; los valores para los hemisferios Norte y Sur difieren únicamente 11" 5. Es digno de notarse que esto corresponde al período de rotación de las manchas en la latitud de 10°, según las fórmulas de Carrington y Spörer.

Las discrepancias que se notan en el período de rotación del Sol, según las observaciones de varios astrónomos, pueden explicarse satisfactoriamente admitiendo el movimiento propio de las manchas á que hemos hecho referencia. Eran tan extraordinarias estas discrepancias, que decía Delambre que un astrónomo no debiera ocuparse de este asunto más que una vez en su vida, pues eran inútiles semejantes observaciones; afortunadamente no se ha seguido su consejo, y ya hemos tenido ocasión de apreciar los brillantes descubrimientos alcanzados por Carrington.

El estudio del movimiento propio de las manchas es de tal dificultad, entraña un trabajo tan inmenso, que el mismo P. Secchi declaraba que era superior á sus fuerzas y se vió obligado á abandonarlo, después, sin embargo, de haber obtenido resultados importantes y conformes con los de Carrington. Es quizás prematuro dar el nombre de leyes á estos resultados que el P. Secchi clasifica de la siguiente manera.

Cuando una mancha se divide ó sufre un cambio de forma considerable, se observa siempre un movimiento brusco, una especie de salto, que tiene lugar invariablemente hacia la parte anterior, esto es, en el sentido en que crecen las longitudes. Estos movimientos bruscos los experimentan también las manchas grandes, y se notan á veces aumentos de actividad en la fuerza ó movimiento que las produce.

La estabilidad de las manchas redondas ó crateriformes es mayor que la que presentan las de bordes angulosos ó núcleos múltiples é irregulares, y suelen durar varias rotaciones. Diferéncianse, pues, de las pequeñas y superficiales, cuyos movimientos presentan gran desigualdad, lo mismo que de las grandes, en la época de formación y cuando están á punto de desaparecer. Muchas veces sucede que una mancha grande, después de haberse disuelto, reaparece á corta distancia de su posición primitiva, pero siempre hacia la parte anterior, por lo cual es muy difícil afirmar que la segunda mancha se deba á la misma causa que produjo la primera.

De una gran serie de manchas estudiadas durante varias rotaciones sucesivas en el Observatorio del Colegio Romano y calculadas según la fórmula de Carrington, se deduce de una manera evidente que están dotadas de un movimiento propio que las transporta en la superficie del Sol con una velocidad extraor-

dinaria. Laugier ha determinado el arco de distancia de varias manchas en grados de un círculo máximo del Sol; el 24 de mayo de 1840 la distancia angular que separaba dos manchas era de $78^{\circ} 30'$, que en tres días disminuyó á $73^{\circ} 20'$, y suponiendo que la diferencia de $5^{\circ} 10'$ hubiese sido debida al cambio de lugar de una sola de ellas, resulta una velocidad propia de 111 metros por segundo: este mismo astrónomo descubrió que las manchas caminan en direcciones opuestas en cada hemisferio.

Los movimientos no se contraen sólo á las longitudes; y en sentido de la latitud también se observan variaciones muy notables de 2 y 3 grados durante una media rotación solar, es decir, en el tiempo que tarda la mancha en pasar aparentemente del borde oriental al occidental.

Faye se ha ocupado en discutir y examinar, desde el punto de vista de la teoría de los movimientos, las observaciones de Carrington y Secchi, y después de un trabajo largo y penoso ha formulado las siguientes reglas por todo extremo interesantes:

Cuando las manchas persisten durante varias rotaciones sucesivas, presentan un movimiento oscilatorio, cuya amplitud mide varios grados, y cuyo período supera al de la rotación del Sol. Las longitudes presentan una oscilación periódica de igual valor, y la combinación de estos dos movimientos hace que la mancha describa alrededor de su posición media y en sentido de la rotación solar una elipse, cuyo eje mayor se dirige hacia los polos. Las dimensiones de estas elipses y sus períodos de revolución varían de una mancha á otra; además, estos fenómenos no se manifiestan de un modo evidente sino en las manchas que persisten durante varias revoluciones.

Son muchos los astrónomos que han fijado su atención en el estudio del hecho extraordinario, revelado por las investigaciones de Carrington, de que la velocidad de la rotación solar no es igual en todos los paralelos. Unos han supuesto que la masa interior del Sol es sólida y está cubierta de una capa fluida, de escaso espesor, que roza contra la superficie del núcleo. Zollner ha defendido esta teoría y ha presentado una fórmula que no concuerda con los hechos observados, puesto que no es aplicable á las regiones polares, y que, por otra parte, los movimientos propios de las manchas demuestran que estos fenómenos están producidos por una agitación profunda, que se extiende hasta las capas más inferiores. Otros comparan los movimientos de la fotosfera á las corrientes de vientos llamados alisios, que soplan entre los trópicos y se originan por el movimiento de rotación de la Tierra combinado con el calor del Sol en la zona ecuatorial.

La hipótesis de Faye, que compara las manchas á los huracanes de movimiento giratorio ó tornados, explica varios de los hechos que se observan; pero no puede generalizarse de la manera que su ilustre autor pretende, pues el movimiento ciclónico no es perceptible en todas las manchas, y aun en una misma cambia de dirección con gran frecuencia; cierto es, sin embargo, que en el hemisferio austral el sentido giratorio es *dextrorsum*, y *sinistrorsum* en el boreal, ó sea opuesto á la marcha de las agujas de un reloj; pero el número de manchas que presentan esta particularidad es relativamente pequeño. Otra diferencia capital entre las borrascas terrestres y las solares se nota en el período de desapari-

ción, en que los torbellinos del Sol parecen contraerse, mientras que los de la Tierra se dilatan: los primeros tienen un movimiento de rotación considerable, al paso que los segundos, al dirigirse á los polos, pierden su movimiento en longitud.

Es difícil hallar la causa que produce estas convulsiones, estas crisis extraordinarias, en el movimiento de rotación del Sol ó en el de la fotosfera sobre el núcleo; estas causas son permanentes, á diferencia de las manchas, cuyo carácter principal puede decirse que es la variabilidad; se asegura por algunos que los poros que se manifiestan en la superficie del Sol son otros tantos huracanes análogos á los terrestres; pero esta opinión no descansa sobre ningún fundamento sólido, antes al contrario, el P. Secchi ha estudiado este asunto con perseverancia y no ha podido descubrir nada que haga suponer la existencia de un movimiento vorticoso.

Uno de los descubrimientos más interesantes de la astronomía moderna ha sido el de los períodos seculares de las manchas del Sol, que se debe al barón Schwabe, de Dessau, cuyas observaciones duraron desde 1826 hasta 1868.

Del estudio de esta preciosa serie de observaciones se deduce un período de máxima y otro de mínima, en el número de manchas, que se suceden con un intervalo de diez ó doce años. Ciertamente que las observaciones de Schwabe no están al abrigo de toda crítica y que sus dibujos los ejecutó en escala muy pequeña, pero en una masa de observaciones tan inmensa se compensan estas diferencias entre sí. Comparada la serie de Schwabe con las de Carrington y las del Observatorio de Kew, de tiempos más modernos, se ha visto que el resultado es en extremo satisfactorio; este trabajo ha sido dirigido por de la Rue, que ha evaluado la superficie cubierta por las manchas en millonésimas del hemisferio visible, distinguiendo la penumbra, el núcleo y la mancha total, y corrigiendo las deformaciones aparentes que se producían, á medida que se acercaban á los bordes.

El período de las máximas y mínimas de las manchas está comprendido entre 10 y 12 años, y cada máxima parece más próxima á la mínima anterior que á la siguiente.

Las observaciones de Schwabe sólo llegan hasta 1868, pero afortunadamente no ha quedado interrumpida la serie, gracias á los trabajos realizados por Wolf de Zurich,

que desde el año 1849 venía efectuando observaciones de la misma índole. Varios son los astrónomos que se han ocupado en calcular la duración de los

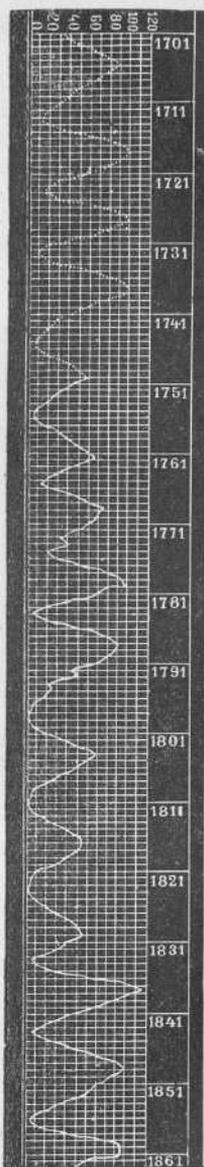


Fig. 40. - Curva de las variaciones anuas

períodos de máxima y mínima de las manchas; Wolf lo estima en 11 años y $\frac{1}{9}$; Lamont en 10 años y $\frac{45}{100}$; la mayor actividad del Sol parece que va unida á los períodos cortos, y la menor á los períodos largos. El intervalo que media entre la época de máxima y la de mínima consecutiva se halla dividido en dos sub-intervalos de 4,77 años y 6,34 años; según Herschel, el máximo viene á caer en el quinto año del período comprendido entre dos mínimas; de la Rue fija la desigualdad de los sub intervalos en 3,7 años y 7,4, y Stewart y Loewy son también de este parecer. Atendiendo á la diversidad de los métodos empleados, no deja de ser sorprendente esta coincidencia, pues los resultados vienen á ser casi idénticos; en unos casos ha servido como elemento el número de grupos de man-

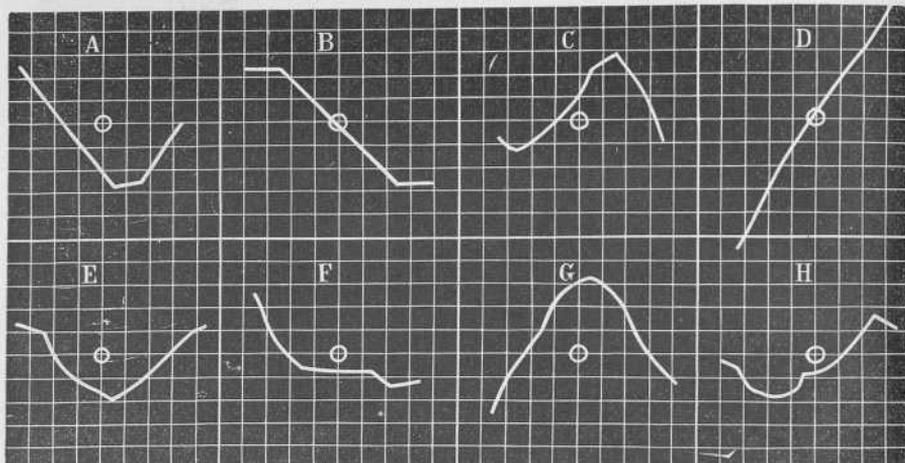


Fig. 41. - Influjo de los planetas sobre las manchas solares
El signo O indica el centro del disco visible

- A. Venus en el centro - B. En el extremo derecho. - C. A 180° del centro. - D. En el extremo izquierdo. - E. Mercurio en el centro. - F. En el extremo derecho. - G. A 180° del centro. - H. En el extremo izquierdo.

chas, y en otros su extensión superficial. En cuanto á la ley del aumento y disminución de un período dado de manchas, difieren grandemente los resultados de Wolf de los obtenidos por otros astrónomos. Según el observador suizo, cuando disminuye la frecuencia de las manchas rápidamente de un máximo al mínimo siguiente, sube con igual rapidez del mínimo al máximo sucesivo; si el decrecimiento se ha verificado con lentitud, lentamente también tiene lugar el aumento. De la Rue, Stewart y Loewy relacionan la rapidez ó lentitud de aumento, en la frecuencia de las manchas de un mínimo á un máximo, con el mínimo siguiente, en que decrecen con igual rapidez ó lentitud.

La fig. 40 representa la curva construída por Wolf para poner de manifiesto las variaciones anuas; las abscisas son los años y las ordenadas el número de manchas observado; de su estudio se deduce que hay dos períodos, uno undece-

nal y otro semisecular de $55 \frac{1}{2}$ años; Wolf dice que existe otro además, tres veces mayor que el segundo, ó de 166 años.

Otra coincidencia se ha observado en los períodos de las manchas. Del examen escrupuloso hecho por Wolf de las observaciones de Schwabe, parecen resultar unos períodos menores relacionados con los movimientos de la Tierra, de Venus, de Júpiter y de Saturno; se ha encontrado una actividad mayor, en grado muy perceptible, que se manifiesta *anualmente*, por los meses de septiembre á enero con preferencia al resto del año. La causa determinante de este período puede residir muy bien en el interior del globo solar, ó en el medio en que se mueve; pero la hipótesis más probable es la del influjo de los planetas; la atracción de estos cuerpos produciría en la superficie del globo del Sol unas mareas semejantes á las de los océanos de la Tierra, y serían el origen de la formación de las manchas, que experimentarían, en cuanto á su frecuencia, una especie de *unidad de altura*, debida á las distancias y posiciones periódicas de los astros que las producen. Mercurio y Venus, por su proximidad al astro central, pueden ejercer una gran influencia en este fenómeno, á pesar de su pequeña masa; Wolf ha trazado una curva continua de la frecuencia de las manchas, que demuestra, por una serie de ondulaciones pequeñas, separadas por intervalos medios de 7,65 meses ó 0,637 de año, su íntima relación con el tiempo periódico de Venus, que es de 255 días, y reducidos á fracción de año, 0,616; esta coincidencia hace muy aceptable la hipótesis de que entre los dos fenómenos existe alguna conexión física. Balfour Stewart opina así mismo sobre el influjo de los planetas Mercurio y Júpiter; de sus trabajos resulta que las manchas se manifiestan en mayor número en la región del Sol que está más próxima al planeta Venus. «El Sol en su movimiento giratorio transporta la mancha que acaba de formarse, la que á medida que se aleja del planeta, crece, adquiriendo su mayor tamaño en el punto más distante de Venus, desde donde empieza á disminuir, al irse aproximando al planeta, en la segunda parte de la rotación.»

CAPITULO V

Temperatura solar. - Radiaciones luminosas. - Acción magnética del Sol

Determinar la temperatura del globo solar es un problema muy difícil, que han tratado de resolver varios astrónomos, ya por el cálculo, ya por observaciones directas. Los resultados obtenidos con el empleo de ambos métodos han sido completamente contradictorios, á causa de la desigualdad de las fórmulas matemáticas de que se ha hecho uso, en un caso, y á la desemejanza de los aparatos é instrumentos empleados, en el otro. A primera vista, pudiera creerse que exponiendo un termómetro al Sol, leyendo el número de grados que marcase y aumentando este número proporcionalmente al cuadrado de la distancia, se obtendría la temperatura del globo solar; pero en este experimento obrarían como causas de error las radiaciones de los cuerpos inmediatos al termómetro, la influencia de la atmósfera y la graduación misma del instrumento; de otros medios, pues, han tenido que valerse los físicos y los astrónomos para llegar á la resolución de este problema.

Saussure y Herschel fueron los primeros que trataron de estudiar el asunto, y más tarde Pouillet continuó sus trabajos; este físico se propuso, según consta en su Memoria publicada en 1838: «Determinar la cantidad de calor solar que en un tiempo dado recoge perpendicularmente una superficie dada. La proporción de calor que absorbe la atmósfera, en el trayecto vertical de los rayos. La ley de la absorción para distintas oblicuidades. La cantidad total de calor emitida á cada instante por toda la superficie solar. Los elementos que es preciso conocer para averiguar si la masa del Sol se enfría gradualmente de siglo en siglo, ó si hay una causa destinada á reponer las cantidades de calor, que incesantemente pierde. Los elementos que permitan determinar su temperatura. La temperatura que tendría la superficie de la Tierra, si no fuese calentada por el Sol. La elevación de temperatura que resulta del calor solar. La relación de las cantidades de calor que la Tierra recibe del Sol, del espacio y de los demás cuerpos celestes.»

Para determinar la cantidad de calor que recibimos del Sol, construyó Pouillet un aparato, al que dió el nombre de *pirheliómetro* y que representamos en la fig. 42.

Está formado por un vaso cilíndrico plano, de plata ó de cobre plateado, de 10 centímetros de diámetro y de 14 ó 15 milímetros de altura, que contiene unos 100 gramos de agua; esta caja ó vaso sirve de calorímetro; en el centro va colocada la bola de un termómetro, cuya varilla se adapta á un tubo de metal con dos collares, sobre los que puede girar libremente. En el extremo opuesto del tubo se halla un disco de igual diámetro que el vaso y dispuesto paralelamente, que sirve para orientar el aparato por la proyección de la sombra que arroja el calorímetro, de manera que los rayos lleguen perpendicularmente á la

superficie del cilindro, la cual además está cubierta de negro de humo para aumentar su potencia absorbente. El tubo de latón que protege la varilla del termómetro lleva una hendidura longitudinal, para poder leer la graduación y anotar la altura de la columna de mercurio.

El experimento se efectúa del modo siguiente: al estar al pirheliómetro á la sombra, se anota la temperatura del agua del calorímetro, que será poco más ó menos la del aire ambiente; el instrumento debe colocarse en un paraje descubierto y próximo al lugar del experimento, de donde se distinga una porción

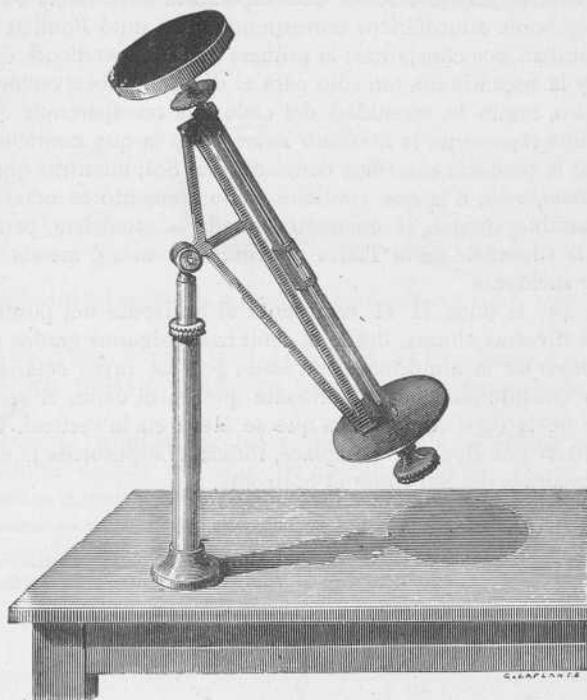


Fig. 42. — Pirheliómetro de Pouillet

del cielo igual, en todas las fases de la operación; el pirheliómetro, expuesto así á la radiación terrestre, baja en su temperatura, por lo general; anótase entonces la altura del mercurio, de minuto en minuto, hasta cuatro veces; en el quinto, se coloca detrás de una pantalla, de tal suerte orientado, que al levantarla á la conclusión de este minuto, los rayos del Sol caigan normales á la superficie ennegrecida de la caja; entonces, durante cinco minutos se anota, de minuto en minuto, la elevación de temperatura, que es muy rápida, teniendo cuidado mientras tanto de agitar el agua constantemente; al concluir el quinto minuto, se coloca de nuevo la pantalla, volviendo á situar el aparato en la primera posición, y se observa su enfriamiento durante cinco minutos más. La primera y la tercera observación permiten calcular la cantidad de calor perdida por la radia-

ción del instrumento hacia el espacio, mientras ha estado expuesto á la acción de los rayos solares, la cual viene á ser una media entre los enfriamientos observados, y sumándola al aumento de temperatura debido á la exposición directa al Sol, se obtiene la elevación de temperatura total.

De las observaciones hechas durante varios años con el pirheliómetro, dedujo Pouillet una ley, que representa con bastante exactitud el resultado total del conjunto; en sus cálculos entran como elementos el espesor de la capa atmosférica que atraviesan los rayos solares, la declinación del Sol y su distancia cenital, etc. Comparando las elevaciones de temperatura observadas en el pirheliómetro y los espesores atmosféricos correspondientes, notó Pouillet que en los resultados figuraban dos constantes: la primera fija, independiente del estado de la atmósfera; y la segunda fija tan sólo para el día de la observación, y variable de un día á otro, según la serenidad del cielo y la transparencia de las capas atmosféricas; una representa la *constante solar*, ó sea la que contiene como elemento esencial la potencia calorífica constante del Sol; mientras que la otra es la *constante atmosférica*, ó la que contiene como elemento esencial el poder de transmisión variable, de que se encuentra dotada la atmósfera, para dejar que lleguen hasta la superficie de la Tierra proporciones más ó menos importantes del calor solar incidente.

En la fig. 43, la línea H H' representa el horizonte del punto A, y S S' S'' S''' el Sol á diversas alturas, desde el cenit hasta algunos grados sobre el horizonte; el espesor de la atmósfera atravesado por los rayos solares puede ser 35 veces más considerable en el horizonte que en el cenit, si representamos por 1 el valor de la capa atmosférica que se eleva en la vertical. La tabla siguiente, calculada por Bouguer y Laplace, indica el espesor de la atmósfera en relación con la altura del Sol sobre el horizonte.

| Alturas del Sol sobre el horizonte | Espesor de las capas atmosféricas | Alturas del Sol sobre el horizonte | Espesor de las capas atmosféricas |
|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 35 | 15 | 4 |
| 1 | 25 | 20 | 3 |
| 2 | 19 | 30 | 2 |
| 3 | 15 | 50 | 1 |
| 4 | 12 | 70 | 1 |
| 5 | 10 | 90 | 1 |
| 10 | 6 | | |

El Sr. Crova, profesor de la Facultad de Ciencias de Mompeller, ha vuelto á medir en estos últimos tiempos la intensidad calorífica de la radiación solar y su absorción por la atmósfera terrestre, empleando el pirheliómetro de Pouillet y el de Tyndall, que se diferencia del anterior en que la caja de plata ó calorímetro es de acero, y se llena de mercurio en vez de agua. Las observaciones hechas en el interior de las ciudades están sujetas á varias causas de error muy difíciles de evitar, producidas por la absorción anormal de los vapores, por el humo de las chimeneas y aun por el polvo y la dirección de las corrientes de aire; por este motivo hizo el Sr. Crova sus observaciones definitivas en el campo

y á la orilla del mar, empleando, en vez de los instrumentos descritos anteriormente, un actinómetro, compuesto de un termómetro grande de alcohol absoluto, con un depósito esférico de 4 centímetros de diámetro y una varilla de 30 centímetros de largo; la superficie exterior de la bola está plateada y cubierta, por un procedimiento electroquímico, con una capa de cobre rugoso, sobre la cual se deposita otra de negro de platino; en el extremo del tubo va una esferita de cristal, y en el depósito se introducen algunas gotas de mercurio, que sirven de índice en la columna de alcohol. El instrumento se orienta, del mismo modo que el pirheliómetro, por medio de una pantalla, sobre la que se proyecta una bola de

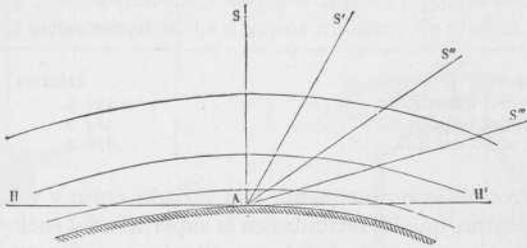


Fig. 43 - Desigualdad del espesor de la atmósfera atravesada por el Sol, según sus posiciones

latón, dentro de la cual va encerrado el depósito del termómetro; las indicaciones del índice sufren varias correcciones, según unas tablas calculadas con este objeto.

Para averiguar la cantidad de calor que recibe la superficie horizontal del suelo en distintas épocas del año, ha calculado el Sr. Crova las observaciones ejecutadas durante dos días normales, en los que haya brillado el Sol sin interrupción, en las épocas de los solsticios de invierno y de verano. Los días más favorables fueron el 4 de enero y el 11 de julio de 1876.

He aquí el resultado de las medidas:

4 DE ENERO DE 1870

| | Calor recibido en 1 centímetro cuadrado | |
|--|--|-------------------------------|
| | Normalmente | En la superficie del suelo |
| | calorías | calorías |
| 1.º Del orto del Sol á mediodía. | 264.4 | 78.9 |
| 2.º Del mediodía al ocaso. | 270.6 | 82.3 |
| 3.º Del orto al ocaso del Sol. | 535.0 | 161.2 |

Las calorías (1) recibidas normalmente han variado entre 0 y 1,29 en nueve

(1) Se llama una caloría al equivalente de un trabajo igual á 425 kilogrametros, ó la cantidad de calor necesaria para elevar de 0 á 1 grado centígrado la temperatura de 1 kilogramo de agua.

horas de insolación, mientras que las recibidas en la superficie del suelo han variado entre 0 y 0,53 en el mismo espacio de tiempo. El calor recibido en el suelo ha sido 0,301 del calor normal.

11 DE JULIO DE 1876

| | Calor recibido en 1 centímetro cuadrado | |
|--|--|-------------------------------|
| | Normalmente | En la superficie del suelo |
| | calorías | calorías |
| 1.º Del orto del Sol á mediodía. | 451.5 | 293.5 |
| 2.º Del mediodía al ocaso. | 424.9 | 280.6 |
| 3.º Del orto al ocaso del Sol. | 876.4 | 574.1 |

Las calorías recibidas normalmente han variado entre 0 y 1,21 en 15 horas de insolación; mientras que las recibidas en la superficie del suelo han variado entre 0 y 1,10 en el mismo espacio de tiempo. El calor recibido en el suelo ha sido 0,655 del calor normal.

El calor recibido normalmente el 4 de enero ha sido 0,610 del recibido el 11 de julio, y el recibido en la superficie del suelo en las mismas épocas y en igual relación, 0,281.

Estos resultados dan la medida exacta de las desigualdades producidas en invierno y en verano, así por la oblicuidad de los rayos solares, como también por el tiempo que permanece el Sol sobre el horizonte, entre los valores absolutos de la intensidad de la radiación solar, y entre las relaciones de la cantidad de calor enviada directamente, á la que se recibe en la superficie horizontal del suelo.

Según se deduce de los experimentos anteriores, un gramo de agua que presente una superficie de un centímetro cuadrado, se caldea en un minuto, 1º,763; conociendo, como conocemos, las dimensiones del globo terrestre, podemos calcular la cantidad total de calor que cae sobre uno de los hemisferios de la Tierra, ó sea sobre la sección del cono circunscrito á la Tierra y al Sol, que viene á ser la cuarta parte de la superficie del globo; luego tenemos que la radiación solar calentaría una capa de agua de un centímetro de espesor, extendida por toda la superficie terrestre, 0º4403, en un minuto de tiempo. En un año la radiación solar podría derretir una capa de hielo de 31 metros de espesor y que rodease toda la Tierra.

Multiplicando el valor que antecede por el cuadrado de la distancia que hay de nuestro planeta al Sol, expresada en radios solares, podemos evaluar la cantidad de calor emitida en la superficie de este astro, lo cual es suficiente para elevar en un minuto, hasta 816º,71 la temperatura de una capa de agua de un metro de espesor, ó para fundir en el mismo tiempo una capa de hielo del grueso de 10^m,7.

Los valores asignados por varios físicos á la temperatura del globo solar son

muy variables; he aquí una lista de las temperaturas obtenidas por varios autores que hemos consultado:

| | |
|--------------------------|--------------|
| Pouillet | 1.600 grados |
| Vicaire | 3.000 » |
| Dewar | 16.000 » |
| Zollner | 27.000 » |
| Secchi en 1874 | 150.000 » |
| Waterston | 9.000.000 » |
| Secchi en 1872 | 10.000.000 » |

Flammarión y otros astrónomos estiman también que la temperatura de la superficie del Sol debe ser superior á varios millones de grados.

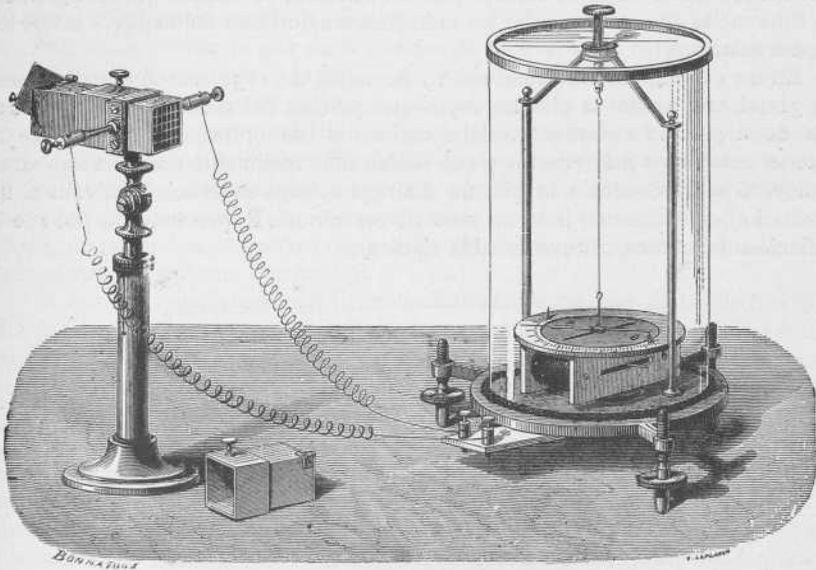


Fig. 44. - Pila termoeléctrica

Las grandes divergencias obtenidas en la evaluación de la temperatura del Sol, dependen principalmente de las diversas leyes admitidas para relacionar la radiación de los cuerpos incandescentes con su temperatura. Los estudios recientemente efectuados por el Sr. Le Chatelier sobre este delicado asunto, indican que la temperatura efectiva del Sol es de unos 7.600° con un error inferior á 1.000° . Otros físicos ingleses, equilibrando la radiación solar con la de una cinta de platino, caldeada á una temperatura conocida, y teniendo en cuenta el coeficiente de la absorción atmosférica, han deducido, después de numerosos experimentos, que la temperatura efectiva del Sol es de 6.200° .

Todos los puntos del disco solar no emiten la misma cantidad de calor, y el P. Secchi ha podido determinar, empleando la pila termoeléctrica, la temperatura relativa de diferentes partes del Sol; estas observaciones son algo antiguas,

pues las primeras que ejecutó el sabio jesuita se remontan al año 1844. La pantalla del aparato de proyección, descrito anteriormente, lleva un agujero en el centro, que permite que los rayos solares hieran la pila termoeléctrica, cuyo galvanómetro (fig. 44) se encuentra sólidamente sujeto á uno de los muros del observatorio. El domo se transforma en una cámara oscura, por medio de cortinas, y así el suelo como las paredes del aposento se cubren de paños negros, para evitar que las radiaciones de los objetos cercanos puedan perturbar los datos suministrados por el instrumento. El aparato está provisto de una regla graduada, que se coloca en un diafragma situado detrás de la pila; sus graduaciones corresponden á partes del diámetro solar, de suerte que siempre puede saberse la posición del punto observado y si está distante ó próximo á los bordes. De los varios estudios hechos por el P. Secchi, se deduce que son grandes las diferencias que existen entre las radiaciones caloríficas del centro y las de los bordes solares.

En un experimento efectuado el 19 de marzo de 1852, marcó el galvanómetro 31° al caer sobre la pila los rayos que partían del centro del disco, y 21° cuando la porción examinada estaba casi en el limbo; después, con objeto de obtener resultados más exactos y que fuesen más fácilmente comparables entre sí, adaptó el P. Secchi á la pila un diafragma, cuya superficie equivalga á un cuadrado que tuviese de lado un arco de un minuto. Representando por 100 la radiación del centro, obtuvo la tabla siguiente:

| Distancia de la pila al centro del Sol | Números que expresan las radiaciones de cada punto |
|--|--|
| + 14',90 | 57,39 |
| + 11',31 | 88,81 |
| + 1',77 | 99,48 |
| - 10',90 | 81,32 |
| - 14',88 | 54,34 |

El signo + indica la parte superior del disco, y el — la inferior.

En otros experimentos llevados á cabo con un anteojo mucho más poderoso, se encontró una disminución aún más sensible, pues á la distancia de un minuto del borde, la intensidad era tan sólo como 0,52 de la del centro, esto es, la mitad. Mientras más hacia los bordes se dirige el aparato, mayores son las dificultades que se encuentran para conservar dentro del agujero del diafragma la misma parte ó región del disco solar que se viene examinando.

No sólo disminuye la temperatura en el disco del Sol del centro á la circunferencia; también se ha observado que el calor se halla repartido en ambos hemisferios de un modo desigual; para saber si esta diferencia pudiera ocasionarla la atmósfera terrestre, hizo el P. Secchi un estudio comparativo de dos puntos, situados sistemáticamente á uno y otro lado del ecuador solar, observando alternativamente el superior y el inferior, hasta que el último llegó á ocupar la

misma altura que el anterior; como el influjo de la atmósfera era igual en ambos casos, debía desaparecer en las diferencias, lo que no tuvo lugar; luego no se debe á una causa atmosférica la desigual temperatura de los dos hemisferios.

El profesor Langley, ya citado, ha construído un aparato que permite evaluar en grados y fracciones la intensidad de la radiación de la fotosfera y de las diversas partes de las manchas.

El aparato se compone de una ecuatorial con un anteojo de 13 pulgadas de abertura, movido por un mecanismo de relojería de gran potencia y precisión; los rayos caloríficos caen sobre una de las caras de una pila termoelectrica, colocada precisamente en el eje óptico del anteojo, y rodeada de agua, que se sostiene á una temperatura constante; la pila está formada de elementos muy pequeños, y va unida á un galvanómetro de reflexión, muy sensible. Las operaciones se efectúan del modo siguiente:

Primero se coloca la pila en la imagen de la fotosfera, entre la mancha y el centro del disco; después se expone á las radiaciones de la sombra, y por último entre la mancha y el borde del disco. En cada una de estas tres posiciones permanece la pila un intervalo de tiempo igual, y se nota cada vez la desviación galvanométrica producida. La medida de las dos indicaciones fotosféricas, corregidas de los errores instrumentales, sirve de divisor de la lectura correspondiente á la sombra de la mancha. El cociente obtenido expresa, pues, el valor de las variaciones de la sombra, en partes de la radiación de las porciones inmediatas de la fotosfera, que se toma por unidad.

El famoso ingeniero sueco Ericsson contradice algunas de las deducciones del P. Secchi, por suponerlas obtenidas con medios defectuosos, tales como el uso del diafragma agujereado y la termopila, y prefiere el método directo; en la construcción de los aparatos necesarios para sus investigaciones ha tropezado con graves obstáculos, debidos principalmente á las dimensiones colosales de la mayor parte de sus piezas. Imaginemos un tubo de 17 metros de longitud, semejante al de un telescopio, de un metro de diámetro, sin objetivo ni ocular, montado ecuatorialmente, á cuyos extremos puedan adaptarse unas tapaderas ó diafragmas metálicos, perpendiculares al eje del tubo; el diafragma superior está perforado con dos agujeros circulares de 20 centímetros de diámetro, colocados en la prolongación de una línea vertical y distantes entre sí unos 36 centímetros; otro agujero circular de una superficie igual á $\frac{1}{8}$ del área aparente del disco solar, esto es, de 72 milímetros, se abre á cualquiera de los lados de la línea vertical; el diafragma inferior lleva tres aberturas pequeñas, de 6 milímetros de diámetro, cuyos centros corresponden exactamente á los tres agujeros del diafragma superior.

En este estado, se dirige el tubo hacia el Sol y se colocan tres actinómetros, uno debajo de cada una de las aberturas del diafragma inferior; los dos actinómetros que corresponden á los agujeros mayores, marcan, después de un tiempo de exposición suficiente, una temperatura máxima, por ejemplo, 35° centígrados, mientras que el actinómetro que corresponde al agujero cuya área es $\frac{1}{8}$ del tamaño aparente del disco solar, indicará $\frac{35}{5} = 7^\circ$ centígrados, á menos que la parte central del disco solar irradie más poderosamente hacia la Tierra que el resto, en cuyo caso, la temperatura marcada será superior á 7° centígrados en

el actinómetro á que hemos hecho referencia. Fácilmente se comprenderá que los rayos solares que entran por los agujeros del diafragma superior, convergen en el extremo inferior y pasan por los pequeños agujeros, elevando la temperatura de los actinómetros; supongamos ahora que una placa circular, cuya superficie mida con toda exactitud $\frac{1}{8}$ del área aparente del Sol, es decir, 145 milímetros de diámetro, se coloque concéntricamente en cualquiera de los agujeros del diafragma que cierra la parte superior del tubo telescópico. Siendo el diámetro aparente del Sol de unos 162 milímetros, claro es que la placa sólo dejará pasar á su alrededor los rayos que provengan de una zona de $1' 42''$ de ancho, los cuales se reunirán en el vértice de un cono, cuya base será el agujero del diafragma.

Los demás actinómetros se disponen de un modo análogo y todo el instrumento puede dirigirse á las regiones del Sol que se quieran examinar, de modo que es dable estudiar simultáneamente dos zonas ó porciones distintas.

No nos es posible referir con toda minuciosidad los experimentos llevados á cabo por Ericsson, y sólo presentaremos los hechos más importantes que ha obtenido de sus observaciones. La intensidad de la radiación solar en las inmediaciones de los bordes ha sido tan sólo 0,638 de la que han emitido las porciones centrales; resultado que difiere grandemente del obtenido por el P. Secchi, quien supone que la absorción detiene los $\frac{2}{3}$ de la fuerza total de irradiación. Basta con este ejemplo para probar que el problema de la temperatura del globo del Sol dista mucho de hallarse resuelto, ni mucho menos, y que hacen falta, para poder formar una opinión acertada, nuevas y múltiples observaciones.

Pocos países se encuentran tan favorablemente situados como el nuestro para estudiar estos problemas, que exigen una atmósfera despejada y una sucesión de días de Sol claro y brillante, condiciones que rara vez se obtienen en las comarcas más septentrionales; y aunque los aparatos y medios de observación sean delicados y medianamente costosos, no creemos que pueda considerarse como imposible el que lleguen á obtenerlos nuestros observatorios y que consigan con su empleo resolver estos interesantes enigmas de la física solar.

Si valiéndonos del aparato de proyección descrito en la página 18 observamos la imagen del Sol formada en la pantalla, percibiremos fácilmente que la luz de los bordes es mucho menos intensa que la que proviene de las regiones centrales. Esta observación se debe á Lucas Valero y fué confirmada por Scheiner, según puede leerse en su famosa *Rosa Ursina*. En tiempos posteriores intentó Bouguer determinar, por medios fotométricos, la relación que existe entre la intensidad luminosa del centro y la de un punto situado á una distancia igual á los $\frac{3}{4}$ del radio; esta relación es igual á $\frac{1}{0,720}$. Bouguer se valió para sus observaciones de una lente cóncava, que le permitía dispersar la luz del Sol, con objeto de disminuir su excesivo brillo en una proporción fácil de calcular; debilitada de esta suerte la luz del Sol, no había dificultad en compararla con la de una bujía, colocada á una distancia conocida de la pantalla fotométrica. Advertiremos aquí, de paso, que Bouguer fué el inventor de la fotometría.

El P. Secchi ha empleado en sus estudios el siguiente procedimiento: transformado el domo en una cámara obscura, se adapta al anteojo un ocular poderoso, que dé, por proyección, una imagen débil del Sol, de un metro de diámetro;

con objeto de atenuar más aún el brillo de la imagen, lo cual es de suma importancia para poder apreciar las intensidades relativas, se adapta al objetivo de la ecuatorial un diafragma; la imagen se recibe sobre una pantalla negra, que tiene dos aberturas de un centímetro de diámetro cada una, las cuales permiten que los rayos luminosos de la región examinada se reflejen en otra pantalla blanca colocada detrás de la anterior.

Los rayos que corresponden al centro del disco presentan un color blanco, y su intensidad es casi igual en todos los puntos de esa región únicamente; pues más allá del cuarto del radio, la diferencia es muy acentuada, hasta que al llegar á las inmediaciones de los bordes, no sólo varía la cantidad de luz emitida, sino que su color pasa de blanco á rojo; esta coloración hace en extremo difíciles las medidas fotométricas, y á ella cree el P. Secchi que se debe el tinte que presenta el horizonte, cuando durante los eclipses totales se halla la Tierra iluminada sólo por esta zona exterior.

Muchos y variados han sido los experimentos hechos por el sabio Director del Observatorio de Roma, y de ellos se deduce que, en dos puntos situados á 1 y á 5 minutos del borde respectivamente, la relación de las intensidades es como de 1 á 3; en el segundo de estos puntos, la intensidad luminosa viene á ser como los $\frac{2}{3}$ de la del centro, de suerte que la relación entre el punto más distante y el centro sería

$$\frac{1}{3} \times \frac{2}{3} = \frac{2}{9} = \frac{1}{4.5} = 0,22$$

El color rojo de los bordes hace muy difícil la evaluación de la intensidad luminosa de esta región, pero desde luego puede asegurarse que es mucho menor que la de las zonas inmediatas.

La debilitación de los rayos luminosos en los bordes viene á demostrar la existencia de una atmósfera solar absorbente, cuya constitución se ignora; puede ser muy densa ó espesa y de poca altura, y puede también, como la nuestra, ser elevada y difusa.

Terminaremos este asunto presentando algunas comparaciones familiares, entre la intensidad luminosa y calorífica del Sol, y las fuentes de calor y de luz de que podemos disponer en nuestros laboratorios.

La cantidad total de calor emitida por el Sol es suficiente para hacer hervir en una hora una masa de agua de 29.000.000.000 de kilómetros cúbicos de agua, según Tyndall. O de otro modo: para hacer hervir esta cantidad de agua haría falta una montaña de carbón de piedra de 27 kilómetros de espesor. Otro ejemplo que copiamos de Herschel: figurémosnos una columna cilíndrica de hielo de 18 leguas de diámetro, que sin cesar se dirija hacia el Sol, y que toda el agua derretida desaparezca inmediatamente; para que todo el calor solar se invirtiese en la fusión del hielo, sin que se produjera ninguna radiación exterior, sería preciso lanzar el cilindro congelado con la velocidad de la luz. El calor del Sol podría, sin disminuir de intensidad, fundir en un segundo de tiempo una columna de hielo de 4.120 kilómetros cuadrados de base y de 310.000 kilómetros de altura. Para derretir esta columna de hielo, con los medios que poseemos en la

Tierra, sería necesario que nuestro planeta tuviese un volumen 1.300.000 veces mayor que el suyo, y que una capa de hulla inflamada de 7 leguas de espesor lo rodease constantemente.

Bouguer calculó que, al hallarse el Sol á 31° sobre el horizonte, con un cielo claro y despejado, la intensidad de su luz puede compararse á la de 62.177 bujías colocadas á la distancia de un metro; teniendo en cuenta la absorción producida por la atmósfera y el decrecimiento de la luz en razón inversa del cuadrado de la distancia, el poder luminoso del Sol en el cenit es 75.200 veces superior al de una bujía colocada á un metro de distancia del objeto iluminado. Estos experimentos de Bouguer fueron confirmados por Wollaston, recibiendo un haz de luz solar en una cámara oscura; según este físico, la luz del Sol en el cenit equivale á 68.000 bujías situadas á la distancia de un metro, número inferior al encontrado por el astrónomo francés.

Hoy día podemos producir en nuestros laboratorios luces artificiales cuyo poder se asemeja mucho al de la luz del Sol; tales son las de Drummond, de magnesio y la eléctrica. La luz de Drummond ú oxihídrica (figura 45) se obtiene inflamando una corriente de hidrógeno y oxígeno, é introduciendo en ella un pedazo de cal ó de zirconio; su intensidad es comparable á la de 160 ó 180 bujías.

La de magnesio consiste simplemente en inflamar un alambre de este metal, de una sección, por ejemplo, de $\frac{1}{3}$ de milímetro de diámetro; su poder luminoso, cuando arde en el aire atmosférico, es igual á 74 bujías, pero sube á 110 si se le quema en una atmósfera de oxígeno (fig. 46).

La luz más brillante que los hombres han podido producir es la eléctrica, y la única que no produce sombra proyectada sobre el disco solar; cuando se coloca la llama de una bujía al Sol y se recibe su imagen sobre una pantalla, se observa que da una sombra bastante oscura, y si se dispone la llama de tal suerte que se la vea al mismo tiempo que la parte de cielo cercana al Sol, llega á desaparecer, y sólo se distingue el pábilo como una mancha negra.

Arago dice que la potencia luminosa del arco voltaico es equivalente á 3.400 bujías, ó sea la cuarta ó quinta parte de la del Sol; su intensidad depende, sin embargo, de la energía de la dinamo empleada.

En todos estos ejemplos sólo nos hemos referido al brillo del Sol en la superficie de la Tierra, y no á su intensidad absoluta. Arago comparó el resplandor del cielo en las proximidades del Sol, á la intensidad luminosa del disco; y á una distancia angular de 32 minutos, era el brillo de la atmósfera 511 veces menos intenso que la luz solar. Bouguer ha demostrado que, para que una luz eclipse á

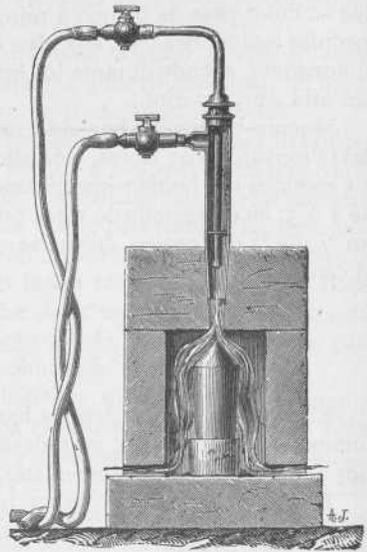


Fig. 45. - Soplete oxihídrico

otra, ha de ser 64 veces superior á ella; y, como hemos visto, la luz de una bujía es invisible en la proximidad del disco solar; luego esa región tiene un brillo intrínseco igual á 64 veces el de la llama de una bujía, de modo que la intensidad de la luz solar viene á ser $511 \times 64 = 31.704$ veces superior á la luz de una bujía; según Bouguer, este número es muy bajo, y debe ser substituído por 186.400, y según Wollaston, por 179.130.

Del examen de los hechos que hemos presentado, podemos deducir con gran fundamento que todas las radiaciones experimentan una absorción considerable, que aumenta desde el centro del disco hasta los bordes, lo que hace suponer que el Sol está rodeado de una atmósfera. La región comprendida entre los 30° de latitud á cada lado del Ecuador, tiene una temperatura más elevada, lo menos $\frac{1}{16}$, que el resto del globo solar; el hemisferio del Sur es algo más frío que el boreal, y por último, las manchas emiten menos calor y menos luz que las otras partes del disco.

El lector reflexivo no habrá dejado de observar que, en el estudio del astro central de nuestro sistema, hemos encontrado hechos y detalles al parecer insignificantes, que, profundizados, han llegado á ser fenómenos trascendentales y de gran importancia. Al principio, la observación de las manchas solares casi no fué más que motivo de curiosidad, y por su medio, sin embargo, se descubrió la rotación del Sol; á este extremo quedó reducido por muchos años nuestro conocimiento sobre el globo solar, y la diligencia de que han dado pruebas los astrónomos modernos, ha hecho que se estudien del modo más escrupuloso los menores detalles del astro á quien debemos nuestra vida y la de nuestro propio planeta. Al fin se ha reconocido que, sólo con una observación constante, pueden descubrirse infinitos secretos de la constitución solar, íntimamente relacionados con ciertas maravillosas manifestaciones que tienen lugar en la superficie de la Tierra.

Al mismo tiempo que Schwabe y Wolf se dedicaban con incansable ardor al estudio de la superficie solar, registrando en sus cuadernos los menores accidentes de la fotosfera, Sabine, en Inglaterra, con igual constancia, se ocupaba en investigar los fenómenos magnéticos que se presentaban en la superficie de nuestro globo.

Una aguja imanada, suspendida libremente, se dirige, de un modo constante al parecer, hacia los polos del globo terrestre; esto es cierto, si no se atiende más que á las fluctuaciones de gran amplitud; sin embargo, dentro de ciertos límites, la aguja se halla en perpetua oscilación, correspondiendo sus desviaciones á determinadas horas del día; además de estos movimientos periódicos, se observan asimismo unas fluctuaciones bruscas é irregulares. Diariamente, pues, la aguja

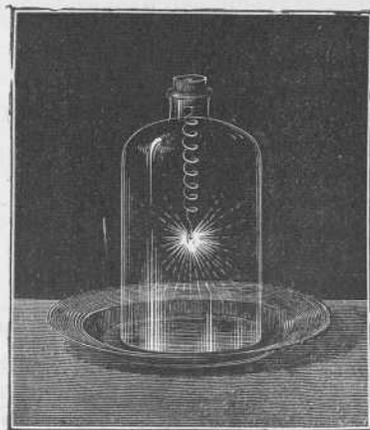


Fig 46 - Luz de magnesio ardiendo en el oxígeno

magnética, libremente suspendida, se aparta por la mañana de su posición de equilibrio, á la que vuelve por la tarde, después de una excursión de amplitud variable; estos movimientos regulares dependen, sin duda alguna, de la presencia del Sol sobre el horizonte del lugar y de su situación geográfica, toda vez que aumentan con la latitud en un hemisferio, cambiando el sentido de su dirección en el opuesto. Parecerá extraño que un cuerpo de temperatura tan elevada como el Sol, esté dotado de potencia magnética; pero los movimientos de la aguja no se deben á una acción propia ó directa de este astro, análoga á la producida por la Tierra en su superficie; la distancia que nos separa del Sol es tan considerable, que aun existiendo en él una gran fuerza magnética, no podría influir, no ya sobre una aguja ó brújula común, pero ni sobre una que fuese tan larga como el globo terrestre. No puede negarse, pues es un hecho incontestable y demostrado, que el Sol ejerce una acción manifiesta sobre los fenómenos magnéticos que se verifican en la superficie del planeta; esta acción desconocida, directa ó indirecta, que obra sobre la electricidad terrestre y sobre las corrientes á que da origen, que á su vez obran sobre la aguja, es muy difícil de precisar, por el gran número de incógnitas que entran en el problema. Siendo esta cuestión puramente especulativa, nos limitaremos á exponer los hechos conocidos y las deducciones que de ellos pueden obtenerse.

Hace un siglo, ó poco menos, que se vienen observando las variaciones de la aguja imanada; y de la inspección de sus oscilaciones resulta, que las variaciones no son constantes y que difieren de un año á otro, presentando épocas de máxima y de mínima, que constituyen un fenómeno periódico, siendo éste de unos 11 años. Sabine en Inglaterra, Wolf en Zurich y Gautier en Ginebra notaron que las afecciones de la aguja eran más frecuentes en los años en que el Sol presentaba mayor número de manchas, es decir, que coincidían con el período de máxima actividad solar, que es también, como hemos visto, de 11 años aproximadamente.

No se contrae la influencia solar sobre la aguja á lo que podemos llamar variaciones espasmódicas, pues también en las oscilaciones diurnas se observa su íntima relación con el estado de la superficie del Sol. Sin embargo, esta coincidencia y la de los períodos de máximo de manchas pudieran ser puramente fortuitas y llegar á desaparecer al cabo de algunos años.

Las variaciones de la aguja imanada siguen un período de 11,17 años \pm 0,6, es decir, casi el mismo de las manchas, que es de 11 $\frac{1}{9}$ años; además, las pequeñas anomalías que presenta uno de los fenómenos respecto del período medio, se reproducen fielmente en el otro fenómeno; las manchas solares ejercen una acción diurna sobre el magnetismo terrestre, en extremo sensible para nosotros; circunscrito de esta suerte el problema de las variaciones, se hace más fácil su estudio, sin que esto quiera decir que el asunto esté resuelto ni mucho menos.

No son sólo las variaciones de la aguja magnética las que están relacionadas con el estado de la fotosfera ó superficie del Sol, también coinciden con esta clase de fenómenos la aparición y frecuencia de las auroras boreales; de suerte que entre estas tres clases de manifestaciones de la naturaleza existe una conexión íntima y misteriosa. El profesor Balfour-Stewart ha trazado varias curvas

representando el número de manchas solares, la marcha de los instrumentos magnéticos del Observatorio de Kew y las frecuencias de las auroras boreales. Arago observó que existe cierta relación entre la manifestación de las auroras y las perturbaciones accidentales de la aguja imanada, libremente suspendida; de suerte que los tres fenómenos, como hemos dicho, presentan una concomitancia singular.

No puede afirmarse con propiedad que las manchas solares sean la causa de las oscilaciones magnéticas; pues, á veces, la variación de la aguja es muy considerable, y sin embargo, no se distingue en el disco del Sol mancha alguna; por otra parte, las observaciones espectroscópicas de Lockyer y otros han hecho ver que puede existir una gran actividad en el Sol, sin que se manifiesten manchas, y que éstas, sin embargo, aparecen cuando las perturbaciones de la fotoesfera son muy considerables.

Resumiendo los trabajos ejecutados hasta aquí, principalmente por los astrónomos ingleses, dedúcese:

1.º Cuando una barra imanada se suspende libremente, no es fija, en absoluto, su dirección respecto á nuestro globo, presentando sus variaciones un período diurno y otro anuo. En la brújula de declinación, el extremo que se dirige hacia el Sol, es decir, el polo Sur en nuestro hemisferio y el Norte en el opuesto, parecen huir del astro central, desde el momento en que aparece sobre el horizonte, cesando el movimiento hora y media después que el Sol pasa por el meridiano magnético; desde este instante empieza á retroceder la aguja hasta la postura del Sol, repitiéndose el movimiento durante la noche, pero con una amplitud mucho menor.

2.º Reconócese asimismo un período anuo en el movimiento de la aguja imanada. La oscilación diurna de la brújula de declinación resulta de dos elementos, uno constante y otro que depende de la declinación del Sol. Estos dos movimientos obran en igual ó en opuesto sentido, según que el Sol se encuentra en el mismo hemisferio que la aguja, ó en el otro.

3.º La fuerza horizontal, que se mide por medio de una barra colocada perpendicularmente al meridiano magnético, está sujeta á oscilaciones semejantes; pero las máximas y mínimas distan unas tres horas de las correspondientes á las de la declinación.

4.º Hay un máximo y un mínimo anual, independientes del hemisferio en que se halla el Sol, pero relacionados con su posición en el apogeo ó en el perigeo.

5.º Además de las variaciones regulares y normales, se hallan las barras sujetas á variaciones extraordinarias, que dependen de las auroras boreales y de las borrascas eléctricas de la atmósfera terrestre.

6.º Finalmente, la amplitud de la oscilación diurna es muy variable, y en un período de diez años próximamente llega á alcanzar valores dobles, uno del otro; pero la circunstancia más extraordinaria es que las máximas y mínimas coinciden con las auroras boreales y con las máximas y mínimas de las manchas visibles en el Sol. Igual variación en las oscilaciones periódicas se encuentra en la época de las perturbaciones extraordinarias á que se ha dado el nombre de tempestades magnéticas.

Los astrónomos admiten varias teorías para explicar los hechos, proponiendo unos que la influencia del Sol sobre la aguja imanada sea directa, y sosteniendo otros que indirecta; en el primer caso, si en el Sol residen grandes corrientes eléctricas, ó una acción magnética propia, obraría sobre la aguja por sí mismo; la acción sería indirecta si produjesen en nuestro globo cambios físicos capaces de modificar el magnetismo terrestre y las corrientes telúricas. Es difícil aceptar la primera opinión, sostenida por Sabine y otros, de que la materia que compone el globo solar está dotada de poder magnético, aunque bien pudiera hallarse rodeado por corrientes eléctricas cuya acción poderosa se extendiese hasta la Tierra. No debemos olvidar que otros cuerpos celestes, la Luna, por ejemplo, ejercen sobre la aguja imanada una influencia marcada, aunque débil.

El P. Secchi, sin embargo, encuentra más aceptable la segunda opinión, fundándose en las relaciones que existen entre las auroras boreales y el período decenal de las variaciones diurnas, y en que su valor absoluto depende indudablemente del número de auroras. Son éstas fenómenos meteorológicos producidos por la electricidad, que en las regiones más elevadas de la atmósfera se dirige del ecuador hacia los polos, dando lugar á verdaderas corrientes que obran sobre la aguja magnética. Acerca de estas manifestaciones no cabe duda alguna, y las líneas y aparatos telegráficos sufren grandes perturbaciones, y á veces hasta descargas eléctricas, cuando se observan auroras polares; nada nos impide atribuir las oscilaciones periódicas de la aguja á las corrientes eléctricas de la atmósfera, periódicas también y dependientes, en cuanto á sus funciones, de la marcha de la temperatura, del estado del vapor de agua y de algún otro elemento meteorológico.

Esta teoría dista mucho de ser completa, y aunque podemos suponer que la formación de una mancha solar va acompañada de fenómenos eléctricos, aún no sabemos cuál habría de ser su acción sobre la aguja magnética. Menos aún podemos decir de la relación que existe entre las manchas del Sol y las auroras polares; cierto es que, en el siglo penúltimo, un famoso astrónomo francés atribuyó la aparición de las auroras á la acción de la atmósfera solar que se extendía hasta la Tierra; pero esta hipótesis no es defendible hoy día.

En suma, cuanto hemos expuesto á la consideración del lector sobre este asunto, se apoya sólo en simples conjeturas más ó menos fundadas, y á la verdad, únicamente podemos esperar la resolución del problema de las generaciones futuras, cuando se hayan acumulado largas series de observaciones ejecutadas con instrumentos más perfectos que los actuales. Mucho distamos de haber alcanzado este descubrimiento, pero no debemos desanimarnos; que si bien es mucho lo que ignoramos sobre las acciones y constitución del Sol, también es verdad que no pasa año sin que se descorra algo más el tupido velo que tantos misterios nos oculta.

LIBRO SEGUNDO

LOS PLANETAS

INTRODUCCIÓN

Después de haber descrito las maravillas del astro central de nuestro sistema, vamos á ocuparnos ahora de los demás cuerpos celestes que lo rodean y forman su familia, acompañándolo en su eterno viaje por los espacios.

Circulan en torno del Sol una multitud de astros, entre ellos ocho principales, que han recibido el nombre de planetas, y de los que forma parte la Tierra. Planeta, según su etimología griega, quiere decir astro errante; con este nombre pretendían los antiguos significar los astros que se mueven en la esfera celeste, con relación á las estrellas fijas; esto es, los astros que no forman parte constantemente de una constelación y que en el transcurso de unas horas, y á veces de más tiempo, pasan de unas constelaciones á otras. Como el Sol y la Luna recorren en su viaje anuo varias constelaciones, según esta definición, pudieran considerarse como planetas, y así los clasifican algunos antiguos escritores; pero hoy día, sólo se da el nombre de planetas á los cuerpos celestes que presentan un disco sensiblemente circular, que reciben su luz del Sol y que circulan alrededor de este astro, recorriendo órbitas elípticas. Estos cuerpos, unas veces aislados, otras reunidos formando grupos que representan en miniatura el sistema solar, componen una serie de mundos distintos, cuyas dimensiones, distancias, movimientos, formas, constitución física y estructura merecen un estudio particular y profundo. Los ocho principales, á que hemos hecho referencia, se llaman, en orden á sus distancias al Sol y empezando por el más próximo, Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Todos ellos no fueron conocidos en la antigüedad, y los caldeos, estos astrónomos de los tiempos remotos, sólo hablan de cinco, según afirma Diodoro de Sicilia. Platón, en su *Timeo*, dice expresamente: «alrededor de la Tierra, que descansa en el centro del mundo, se mueven el Sol, la Luna y otros cinco astros más, que se llaman planetas; en todo hacen siete movimientos circulares.»

En la estructura del cielo imaginada por Pitágoras y descrita por Filolao, se cuentan, entre las diez esferas celestes que hacen su revolución alrededor del fuego central ó foco del mundo, inmediatamente debajo del cielo de las estrellas fijas, los cinco planetas, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, seguidos del Sol, de la Luna, de la Tierra y del antípoda de la Tierra. Ptolemeo tampoco habla en sus obras sino de cinco planetas.

Antiguamente no se tenía idea de la regularidad de los movimientos de estos cuerpos; y si hemos de creer lo que refiere Diodoro de Sicilia, los egipcios les atribuían buenas y malas cualidades y un influjo marcado y directo sobre los asuntos de la vida. Para los caldeos eran presagios y anuncios de las lluvias, tempestades, temblores de tierra y otros fenómenos y presidían á los nacimientos. Platón fué uno de los primeros promovedores de la astronomía planetaria, y pidió á los matemáticos que le explicasen el problema de los movimientos de los planetas.

A pesar de las hermosas teorías de Copérnico, de las maravillosas leyes de Keplero y de los admirables descubrimientos hechos por Galileo en el cielo, durante una larga serie de siglos no conocieron los hombres más planetas que los estudiados por los antiguos; sólo hasta fines del siglo XVIII no se descubrió á Urano por Herschel, y en el año 1846 del último siglo, á Neptuno, por Le Verrier.

Dos grandes divisiones tenemos que hacer de estos cuerpos: en principales, y menores ó pequeños. A la primera clase pertenecen los ocho que hemos nombrado; y á la segunda, una multitud de planetas, descubiertos todos en el siglo XIX, y cuyas órbitas circulan entre Marte y Júpiter; á los de este grupo se llama con impropiedad asteroides.

Antes de pasar á la descripción de cada uno de estos cuerpos, debemos estudiar someramente, pero lo bastante para adquirir una idea clara y precisa, los caracteres comunes que hacen de estos astros una sola familia, y sobre todo los dos movimientos principales á que están sujetos, uno de traslación alrededor del Sol y otro de rotación sobre su eje; para esto, tenemos que anticipar algunas ideas.

Todos saben que el movimiento aparente de la bóveda estrellada y el curso diario que siguen el Sol y la Luna se deben á la revolución que la Tierra ejecuta sobre su eje en veinticuatro horas y en sentido contrario al movimiento diurno; la dirección del movimiento de nuestro planeta es, por lo tanto, de Occidente á Oriente, y su velocidad uniforme; ya vimos, al estudiar las manchas solares, que el Sol está también dotado de un movimiento de rotación alrededor de un eje, cuya dirección es invariable. Todos los planetas deben girar asimismo alrededor de un eje, cuya dirección es invariable; pero debido á la distancia de unos, como Urano y Neptuno, y á la pequeñez de otros, como los asteroides, sólo se ha observado este movimiento de un modo indudable en Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno.

A la simple vista, confúndense los planetas con las estrellas que pueblan el espacio, pues, como ellas, sólo aparecen como puntos luminosos; pero examinados con el telescopio, presentan discos casi circulares, con manchas movibles, que demuestran que el cuerpo á que pertenecen es esférico y giratorio; los cinco planetas citados se encuentran en este caso, y casi puede asegurarse, si nos apoyamos en las leyes de la mecánica celeste, que las mismas circunstancias de movimiento han de concurrir en los demás cuerpos que, ya por su distancia, ora por su pequeñez, han desafiado la potencia de los modernos y poderosos telescopios. Todos los planetas, menos Neptuno, son visibles á la simple vista y se distinguen de las estrellas, no sólo por su movimiento propio, sino

también por la tranquilidad y dulzura de su luz; esto es, no centellean. Los ejes de rotación del Sol, de los planetas y de sus satélites tienen diversas inclinaciones, se dirigen á distintos puntos del espacio, pero estas inclinaciones son invariables para cada uno de ellos.

En su movimiento de traslación alrededor del Sol, recorren una órbita ó curva cerrada, llamada elipse, cuya forma no se aparta demasiado de la de una circunferencia; en uno de sus focos, y no en medio de la curva, está situado el Sol, que es el centro de movimiento de todos los planetas. Todas las curvas ú órbitas no son iguales, es decir, no presentan la misma excentricidad, pero sí son precisamente planas; y prolongadas, pasan por el centro del globo solar.

La órbita de la Tierra se halla comprendida en el mismo caso, y por razones que expondremos más adelante, ha recibido el nombre de *eclíptica*, y su plano, *plano de la eclíptica*. Como todas las observaciones celestes se hacen precisamente en la Tierra, el observador se encuentra *siempre* en el plano de la eclíptica; de suerte que, para nosotros, el plano de la eclíptica, prolongado en todos sentidos hasta la bóveda celeste, forma un círculo máximo de esta esfera y en el que se encuentra *siempre* el centro del Sol. Las órbitas de los demás planetas no están descritas en este plano, de manera que estos cuerpos no se nos presentan en todas épocas en el plano de la eclíptica.

Los tiempos ó períodos de las revoluciones de los planetas alrededor del Sol tienen una duración igual, pero varían de un planeta á otro, según que aumentan ó disminuyen sus distancias al Sol; de la misma manera que se mueven los planetas alrededor del astro central, giran los satélites alrededor de los planetas principales. El movimiento propio de los planetas se verifica aparentemente en una región ó zona del cielo que se extiende, aunque poco, á uno y otro lado del círculo de la eclíptica. Esta zona, conocida por los egipcios y los griegos, de una anchura de 16 grados, se llama *zodiaco*, y está dividida en doce partes iguales, que corresponden á los doce signos de este nombre.

Hemos dicho que las órbitas de los planetas están situadas en planos diferentes, que pasan por el centro del Sol y presentan diversas inclinaciones sobre la órbita de la Tierra ó eclíptica; veamos ahora si podemos darnos cuenta del sentido del movimiento de los astros que componen el sistema solar, alrededor del centro común.

Para esto, supongamos que un observador se elevase á una altura inmensa sobre el plano de la eclíptica, de tal manera que pudiese ver el mundo solar de frente, ó mejor dicho, como se contempla el panorama de una ciudad, desde una elevada torre ó desde un globo cautivo. En este caso, distinguiría el Sol, casi en el centro, y circulando á distancias desiguales, todos los planetas, describiendo curvas sensiblemente circulares y concéntricas y dirigiéndose todos en un mismo sentido.

Además, hemos de suponer que el observador pudiese distinguir, con auxilio de algún poderoso instrumento, el aspecto y estructura de los astros, en cuyo caso no dejaría de notar las manchas del Sol y la dirección de su movimiento de derecha á izquierda, esto es, de Occidente á Oriente (téngase en cuenta que suponemos al observador con los pies hacia la eclíptica y la cabeza en la parte septentrional del cielo): después, fijándose en los demás planetas, observaría

que todos giraban en el mismo sentido que el Sol, y que la dirección de este movimiento era igual á la del movimiento de traslación. Los satélites seguirían la misma ley alrededor de los planetas principales, excepción hecha de los de Urano, como veremos más adelante.

El eje de rotación de la Tierra, ó sea la línea que une sus polos, no es perpendicular al plano de su órbita; su inclinación es de unos 66° sobre la eclíptica, y como el centro del globo es el que recorre este plano, uno de sus polos estará sobre él y el otro debajo: supongamos que sea el polo Norte el superior, esto es, el que ve el observador; distinguiría entonces que todos los puntos de la Tierra giraban de derecha á izquierda ó de Occidente á Oriente (fig. 47); de manera que la misma ley es aplicable á todos los movimientos de circulación, ya de los planetas alrededor del Sol, ora de los satélites en torno de los planetas.

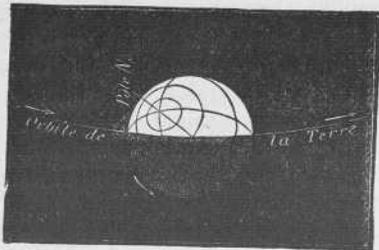


Fig. 47. — Sentido de los movimientos de rotación y de traslación de los cuerpos que componen el sistema solar.

Otro observador situado á gran distancia del mundo planetario distinguiría, en el centro, el Sol, y circulando á su alrededor, en órbitas que vistas de canto parecerían líneas rectas, unas estrellas de brillo desigual, que serían los planetas.

Resumiremos ahora todos los movimientos con objeto de que se perciba claramente la ley común que los rige.

El Sol y los planetas están animados de un movimiento de rotación uniforme, dirigido en igual sentido que el de la Tierra, ó sea de Occidente á Oriente, que se efectúa alrededor de un eje, cuya dirección es casi invariable para cada planeta en particular, pero cuya inclinación sobre la órbita varía de un cuerpo á otro.

Los planetas describen alrededor del Sol curvas casi circulares, inclinadas una cantidad variable, sobre la órbita de la Tierra. El sentido, la dirección de todos estos movimientos, es igual á la de los movimientos de rotación, es decir, de Occidente á Oriente, y por último, los satélites siguen la misma dirección al describir sus órbitas alrededor de los planetas.

Sabemos que la Tierra es un planeta, y que como los demás circula alrededor del Sol; los planetas que se hallan entre este astro y nosotros se llaman inferiores ó interiores, y sus distancias angulares al Sol están siempre comprendidas dentro de límites fijos; en esta clase, y en orden á sus distancias solares, se encuentran Mercurio y Venus; la existencia de Vulcano es cada vez más problemática; sigue luego la Tierra, acompañada de su satélite la Luna, como término ó división entre esta clase y la siguiente, que la componen los planetas superiores ó exteriores, llamados así porque siempre distan del Sol más que la Tierra y porque sus distancias angulares al astro central pueden obtener toda clase de valores, hasta el punto de ocupar lugares diametralmente opuestos. Son Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

Además de los planetas principales, debemos contar una multitud de cuerpos planetarios de pequeñas dimensiones, que circulan entre las órbitas de

Marte y Júpiter, cuyo número aumenta constantemente, todos descubiertos en el siglo último; hasta hoy se cuentan 500, y los principales son Ceres, Palas, Juno, Vesta, Astrea, Hebe, Iris, Flora, Metis, etc., etc.

Entre los infinitos cuerpos que circulan alrededor del Sol de un modo periódico hay cinco, que son á su vez centros de movimientos, es decir, que tienen otros astros ó satélites que giran en torno suyo, al mismo tiempo que el globo

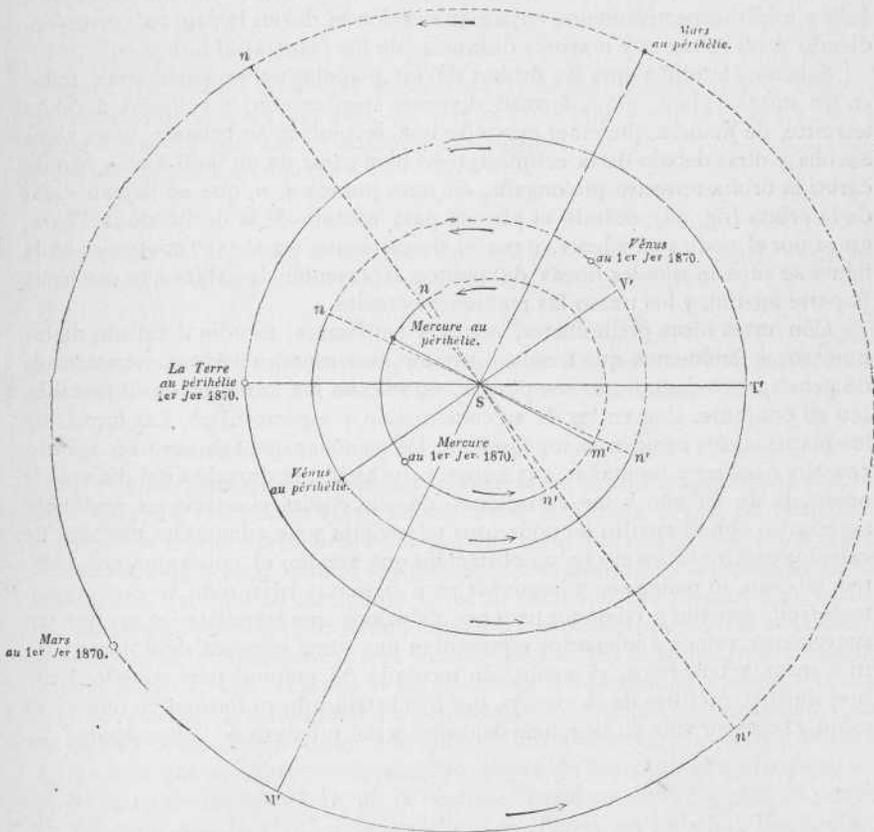


Fig. 48. - Órbitas de los planetas medios Mercurio, Venus, la Tierra y Marte en el perihelio

central gira alrededor del Sol; estos son: la Tierra con su satélite la Luna; Marte con dos, Fobos y Deimos; Júpiter con cinco, Io, Europa, Ganimedes y Calisto, y el quinto sin nombre todavía; Saturno con ocho, Mimas, Encélado, Tetis, Dione, Rhea, Titán, Hiperión y Jafet; Urano con cuatro, Ariel, Umbriel, Titania y Oberón; y Neptuno con un solo, que no lleva el nombre de ninguna divinidad mitológica.

Dijimos antes que el Sol no ocupa el centro de las órbitas planetarias, sino uno de los focos. En la fig. 48 se representan las órbitas de los cuatro planetas

medios, con sus verdaderas dimensiones relativas; la distancia del centro de la órbita al centro del Sol, expresada en semiejes mayores, ó la distancia media de un planeta al Sol, tomada como unidad, es lo que se llama excentricidad de la órbita, y mientras más elevado sea este valor, mayor es la diferencia que presenta la órbita correspondiente con un círculo; esto sucede con Mercurio y Marte; menos con la Tierra, y menos aún con Venus, cuya órbita es casi circular. Los dos extremos del diámetro mayor han recibido los nombres de *perihelio* y *afelio* respectivamente, cuya significación se dió en la pág. 10, correspondiendo á las menores y mayores distancias de los planetas al Sol.

Sabemos también que las órbitas de los planetas no se encuentran todas en un mismo plano, y que forman diversos ángulos con la eclíptica ú órbita terrestre, de manera que en el curso de una revolución se hallarán unas veces encima y otras debajo de la eclíptica; pero para pasar de un lado á otro han de cortar la órbita terrestre prolongada, en unos puntos *n*, *n*, que se llaman *nodos* de la órbita (fig. 48); cuando el planeta pasa encima de la órbita de la Tierra, cruza por el nodo ascendente, y por el descendente en el caso contrario; en la figura se supone que las líneas de puntos representan la órbita que cae hacia la parte austral, y los trazos las porciones boreales.

Con estas ideas preliminares, vamos á empezar el estudio detallado de los numerosos fenómenos que tienen lugar en esos mundos lejanos, y trataremos de penetrar, en cuanto nos sea posible, no sólo en los misterios de su mecanismo en conjunto, sino en los de su constitución y aspecto físico. Las formas de los planetas, sus accidentes topográficos, las manchas que aparecen en sus discos, sus paisajes y montañas, sus nubes y sus hielos, la duración del día y de la noche, la de su año y las variaciones de sus climas y estaciones podremos apreciarlos con el auxilio de poderosos telescopios y de admirables métodos de cálculo; para nosotros no habrá obstáculos que vencer, ni nubes que nos oculten el cielo, ni peligrosos y largos viajes á desiertas islas; todo se nos presentará fácil, sencillo y cómodo; pero no olvidemos que los misterios en que tan suavemente vamos á iniciarnos representan una suma inmensa de dolores y sufrimientos, y tengamos, al menos, un recuerdo de gratitud para aquellos hombres ilustres, mártires de la ciencia, que han sacrificado su fortuna, su reposo, su salud y hasta su vida en beneficio del saber y del progreso de la humanidad.

CAPITULO PRIMERO

VULCANO

Para expresar las distancias respectivas (1) de los planetas al Sol, conócese en Astronomía una ley empírica, de ningún valor hoy, y que lleva por nombre los de Titius ó Bode, ambos astrónomos alemanes.

Si escribimos los números

0 3 6 12 24 48 96 192

que, á partir del segundo, se obtienen multiplicando por 2 el anterior, y agregamos el número 4 á cada uno de ellos, resultará la siguiente serie:

4 7 10 16 28 52 100 196

en la que cada término representa la distancia de un planeta al Sol. A mediados del penúltimo siglo, en que esta ley se formuló, sólo se conocían los planetas

| | | | | | | |
|----------|-------|-----------|-------|---------|---------|-----|
| 4 | 7 | 10 | 16 | 28 | 52 | 100 |
| Mercurio | Venus | la Tierra | Marte | Júpiter | Saturno | |

que correspondían, salvo pequenísimas diferencias, á los términos de la progresión. En 1781, el inmortal Herschel descubrió el planeta Urano, y su distancia al Sol era la misma exactamente que por esta ley debía corresponderle, ó sea el número 196 de la serie. Excitó vivamente el descubrimiento la atención de los astrónomos, que viendo confirmada la ley de un modo tan palmario, no vacilaron en afirmar que al quinto término debía corresponder un planeta cuya órbita estuviera comprendida entre las de Marte y Júpiter. En el Almanaque de Berlín llegó el Barón de Zach á publicar los elementos del pretendido cuerpo, y se formó una sociedad de astrónomos, los que dividieron el zodíaco en veinticuatro partes iguales, comprometiéndose cada uno de ellos á observar con toda asiduidad la región de que se había encargado, con objeto de descubrir el planeta supuesto. Ninguno de los miembros de la Sociedad logró encontrarlo; pero el primer día del siglo pasado, el 1.º de enero de 1801, Piazzí, en Palermo, descubrió á

(1) En la exposición de esta obra observarán los lectores cierta falta de método y unidad, de la que en parte nos declaramos responsables; á veces, suponemos en el lector algunos conocimientos científicos, y á veces también, tratamos de explicarle hasta los más elementales principios de la física; esta falta, que somos los primeros en reconocer, la hubiéramos tratado de evitar si nuestro libro se destinase á la enseñanza escolástica, en la que los alumnos están obligados á estudiar en consonancia con un plan general, pasando sucesivamente de lo elemental á lo complejo, y en la que no se investiga ningún problema, sin que el anterior haya sido resuelto. Nuestra marcha es muy otra, y tenemos precisión, para hacer amena la lectura, de abordar ciertos asuntos que, para ser tratados debidamente, necesitarían conocimientos anteriores; nada, empero, quedará sin explicación, y más adelante, en su lugar, nos ocuparemos de los métodos y leyes fundamentales de la Astronomía.

Ceres, que con alguna discrepancia vino á llenar el hueco que existía en la serie; aparecieron luego Palas, Juno, Vesta y otros, que no se ajustaban á la ley de Bode, empezando ésta á perder su importancia. Sin embargo, hasta el admirable descubrimiento de Neptuno por Le Verrier, no recibió la ley lo que podríamos llamar el golpe de gracia.

Cuando este astrónomo se ocupó del cálculo de los movimientos ó efemérides de Mercurio en 1859, no pudo explicarse, teniendo en cuenta tan sólo la influencia de los planetas conocidos, los pasos frecuentes de este astro por delante del disco solar, y para obviar esta dificultad, calculó de nuevo, suponiendo ya cierta elipticidad en la masa del Sol, ora que la atmósfera de este cuerpo central se extendiese hasta Mercurio y estuviese animada de un movimiento más rápido que el planeta, ya, por último, una mayor resistencia del éter. Todas estas hipótesis fueron insuficientes, y la dificultad desaparecía con sólo aumentar en 38 segundos el movimiento del perihelio, en cuyo caso, la teoría de los pasos de Mercurio sería superior en exactitud á las mejores teorías astronómicas; este aumento del movimiento secular del perihelio puede obtenerse sin que produzca sobre el sistema solar ningún efecto sensible, admitiendo la existencia de un planeta entre Mercurio y el Sol, que se mueva en una órbita poco inclinada sobre la del primero, puesto que en el movimiento de su nodo no se ha observado una variación semejante á la del perihelio; la órbita del planeta puede suponerse, dada la indeterminación del problema, circular, y la masa igual á la de Mercurio, si se le considera á mitad de la distancia de éste al Sol, pues debiendo imprimir al perihelio un movimiento secular de 38 segundos, resulta entre su masa y su distancia al Sol una relación tal, que á medida que ésta se disminuye, hay que aumentar aquélla, y recíprocamente.

Estos cálculos é hipótesis fueron presentados por su autor á la Academia de Ciencias de París, en la época que hemos señalado, y poco tiempo después, el doctor Lescarbault, de Orgiérés, dirigió al mismo cuerpo científico una comunicación, anunciando que el 26 de marzo de 1859 había visto cruzar por el disco del Sol un cuerpo negro circular, muy semejante á Mercurio, cuyo paso había observado anteriormente el 8 de mayo de 1845. El médico astrónomo se había fijado en que la ley de Bode no representaba, ni con mucho, la relación exacta de las distancias de los planetas al Sol, y pensó que, aparte de los ya conocidos, pudiera muy bien haber otros situados entre Mercurio y el cuerpo central. Consiguientemente, dedicóse á practicar un examen escrupuloso de este astro, día por día, hasta que encontró, ó creyó encontrar, el cuerpo que buscaba. Es oportuno recordar la clase de cuaderno de observaciones que usaba, la cual, no obstante la aprobación del célebre Babinet, creemos defectuosa, pues escribía el resultado de sus investigaciones en una tabla y luego las borraba con un cepillo de carpintero. En una de ellas leyó Le Verrier, que se había trasladado Orgiérés, la observación completa, y de su examen adquirió la certidumbre de que el observador había obrado con completa buena fe, y que el paso era muy posible.

Creemos que nuestros lectores verán con gusto la siguiente relación de la entrevista que celebró Le Verrier con Lescarbault. Al llegar el Director del Observatorio de París á casa del modesto médico, sin darse á conocer y de un modo brusco le dijo con altivez: «¿Conque es usted el que pretende haber obser-

vado el planeta intramercurial y ha cometido la grave falta de guardar el secreto de su observación durante nueve meses? Advierto á usted que he venido aquí con idea de hacer justicia á las pretensiones de usted, y para averiguar si ha procedido usted con lealtad ó si ha sido víctima de un error. Dígame usted, pues, con franqueza, lo que ha visto.» El doctor, entonces, refirió lo que había presenciado, relatando todos los detalles referentes á su descubrimiento; al hablar del método grosero que había adoptado para averiguar el tiempo del primer contacto, preguntóle Le Verrier de qué cronómetro se había servido, y no fué pequeña su admiración cuando el médico le enseñó un antiguo reloj de bolsillo, muy grande, cuyas agujas sólo marcaban horas y minutos; este instrumento imperfecto le acompañaba en los viajes que se veía obligado á efectuar á causa de su profesión, pero no podía servir para esta clase de experimentos delicados. Le Verrier empezó á sospechar con este motivo que la famosa observación podía ser muy bien una impostura ó una ilusión, y exclamó con calor: «¿Cómo, con ese antiguo reloj que sólo señala minutos, se atreve usted á decir que estima segundos? ¡Vaya, vaya, ahora veo que mis sospechas eran muy fundadas!» A esto contestó Lescarbault que tenía un péndulo por el cual contaba los segundos; enseñólo, y consistía en una bola de marfil atada á un hilo de seda, que colgaba de un clavo de la pared y cuyas oscilaciones, comparadas con el reloj, medían aproximadamente segundos. Le Verrier quiso saber entonces cómo apreciaba el número de segundos transcurridos, puesto que no había nada para marcarlos, á lo que repuso Lescarbault que esto no era difícil para él, estando acostumbrado á pulsar y á contar las pulsaciones, y que del mismo método se valía para con su péndulo. Vino luego la inspección del antejo, que era bueno; pidióle Le Verrier el registro ó cuaderno original de sus observaciones y después de varias investigaciones, apareció cubierto de grasa y de láudano; había un error de cuatro minutos entre la observación y la carta del doctor relativa al descubrimiento, lo que hizo exclamar á Le Verrier que la observación era falsa; pero el error consistía en que el reloj estaba arreglado al tiempo sidéreo. Quiso saber entonces el Director del Observatorio de qué medios se valía el médico para arreglar su reloj al tiempo sidéreo, y el modesto astrónomo le enseñó un pequeño antejo adecuado á este objeto. Hízole varias preguntas más, y todas fueron contestadas satisfactoriamente; en una tabla, trazados con tiza, estaban hechos los cálculos de Lescarbault para averiguar la distancia del planeta al Sol, deducida del período de cuatro horas que tardó en cruzar el disco solar; los cálculos eran erróneos, pues el doctor no poseía bastantes conocimientos matemáticos para resolver este problema. El resultado de la entrevista fué que Le Verrier quedó bien convencido de que la observación de Lescarbault era exacta, y de que, en efecto, había visto un planeta cruzar por el disco del Sol; felicitó al doctor por su descubrimiento, y volvió á París con idea de hacer nuevos cálculos, basados en los datos suministrados por el obscuro observador de Orgièrès.

Mr. Lummis, de Manchester, el 20 de marzo de 1862, observaba el Sol entre ocho y nueve de la mañana, cuando le sorprendió la aparición de una mancha, animada de un movimiento propio muy rápido; observóla con un amigo suyo por espacio de veinte minutos, y ambos la vieron perfectamente negra y circular; su diámetro aparente era de unos 7" y en el tiempo que duró la obser-

vacación recorrió un arco de $12'$; Mr. Hind examinó el diagrama hecho por Lummis y dedujo que el arco recorrido por la mancha debía reducirse á $6'$.

Los elementos deducidos de las observaciones de Lummis concuerdan de un modo bastante satisfactorio, en cuanto al valor de la órbita, con los que Le Verrier obtuvo anteriormente; estos cálculos fueron efectuados por dos matemáticos franceses, Valz y Radau.

Dedúcese de la posición heliocéntrica de los nodos, que los pasos de Vulcano por delante del disco del Sol, han de ocurrir sólo entre el 25 de marzo y el 10 de abril en el nodo ascendente, y entre el 27 de septiembre y el 14 de octubre en el descendente. Son varios los individuos que antes y después de Lescarbault han creído ver puntos negros ó manchas cruzar por el disco del Sol, que pudieran atribuirse á pasos de Vulcano. Fritsch, el 10 de octubre de 1802, vió sobre el Sol una mancha circular, que recorrió un arco de $2'$ en tres minutos de tiempo; las nubes impidieron continuar la observación, y al cabo de cuatro horas se despejó el Sol, habiendo desaparecido el planeta. En 9 de octubre de 1819 observó Stark una mancha muy detallada, de forma perfectamente circular y casi del tamaño de Mercurio, en las horas de la mañana; á la caída de la tarde intentó buscarla inútilmente, pues ya no era visible.

Una observación análoga hizo Schmidt el 11 de octubre de 1847 y el mismo astrónomo, en octubre de 1849, vió un punto negro, de unos $15''$ de diámetro, que cruzó rápidamente el disco solar de Este á Oeste. El citado observador dice que tiene la seguridad de que no era ni un pájaro, ni un insecto, el cuerpo que atravesó el campo de su anteojo.

En la misma fecha en que el Dr. Lescarbault vió el supuesto planeta, observaba en el Brasil el astrónomo francés Liais, el cual publicó una comunicación diciendo que, á pesar de haber usado un anteojo mucho más poderoso que el del médico de Orgiérés, nada había notado en la superficie del Sol en las distintas veces que lo observó; no bastá la paralaje para explicar cómo un cuerpo tan cercano al Sol, y que se proyectase sobre su disco en Francia, no fuese visible en el Brasil.

Durante varios años, apenas si volvió á hablarse del asunto, siendo muchas las personas que creían desprovisto de fundamento cuanto se dijera sobre la existencia de Vulcano. Mr. Hind, el famoso astrónomo de Inglaterra, sin embargo, juzgó conveniente publicar una carta en 1872, de la que extractamos los párrafos más importantes y en la que casi se asegura que el hipotético cuerpo debe existir. Es muy importante que los elementos relativos á la posición del nodo, ó punto de intersección de la órbita del planeta con la eclíptica, y su inclinación sobre ella, según los cálculos de Valz, basados en la observación de Lummis, sean tan semejantes á los hallados por Le Verrier, fundados en la observación de Lescarbault. Es cierto que si la posición del nodo y la inclinación fueran precisamente las indicadas por los calculadores, no debiera haberse visto el día 16 de marzo el planeta proyectado sobre el disco del Sol, habiéndose observado en esta situación seis días antes, esto es, el 20 del mismo mes. Pero considerando cuán groseras son las observaciones en que se apoyan estos cálculos, no es grande la fuerza de la objeción. El período de la revolución del planeta, deducido por Le Verrier de la observación hecha en 1859, es de 19.70 días; to-

mándolo como un valor aproximado del verdadero período, se encuentra que si suponemos verificadas cincuenta y siete revoluciones entre la observación de Les-carbault y la de Lummis, resulta un período de 19.81 días. Comparando este valor con las observaciones anteriores de marzo y octubre, en que el supuesto cuerpo pasaría por el disco del Sol en opuestos nodos, vemos que en 9 de octubre de 1819 debió el hipotético planeta haberse encontrado en conjunción con el Sol, y en este día precisamente hizo el canónigo Stark la siguiente observación: «En este momento apareció una mancha nuclear, negra, de contornos bien definidos y de forma circular, del tamaño de Mercurio. La mancha dejó de verse á las 4^h 37^m de la tarde y no volví á distinguirla ni el 9 ni el 12, cuando me fué dable observar de nuevo el Sol.»

La hora exacta de la observación no se menciona, pero parece ser la del mediodía, que era el tiempo en que Stark observaba habitualmente el disco solar. De aquí se deduce un período de 19.812 días.

Quedó así este asunto, poco menos que olvidado, durante algunos años, hasta que á fines del verano de 1876 se hizo pública una observación efectuada en Peckeloh por Weber, el 4 de abril de 1876, del paso de un cuerpo negro y redondo por el disco solar. Pero sólo era una mancha algo más particular que otras, y nada más, y fué dibujada en el Observatorio de Madrid por el Sr. Ventosa, y fotografiada en Greenwich por la señorita que tiene á su cargo esta parte de las tareas de aquel importante Observatorio. Esto se supo más tarde, y mientras tanto, despertada de nuevo la atención de los astrónomos, ocupóse Le Verrier en discutir y examinar todas las observaciones que se habían presentado sobre pasos de planetas, admitiendo la errónea de Weber, que daba lugar á suponer otro paso del 2 al 3 de octubre del mismo año, si la revolución sidérea era de 28 días, y del 9 al 10 del propio mes, si era de 42.

Esta incertidumbre provenía de que todas las observaciones habían sido hechas en el nodo descendente, ignorándose por esta razón la excentricidad de la órbita, cuya influencia habría de manifestarse en el paso de octubre.

Janssen, el astrónomo francés que ideó el método de observar las protuberancias solares, sin aguardar á las raras ocasiones de los eclipses, y que tanto ha contribuído á hacer progresar la óptica celeste, creyó posible encontrar el planeta sin que se proyectara sobre el disco del Sol. Para facilitar estas investigaciones, calculó Le Verrier unas efemérides de las elongaciones del planeta para octubre de 1876 y que no reproducimos por ser innecesario; baste saber que el problema es mucho más complicado, pues las varias órbitas que se han establecido anteriormente, coinciden con las épocas de los pasos por los nodos; pero no sucede lo mismo en los tiempos intermedios, de donde nace la necesidad de consultar las cuatro órbitas y de extender las investigaciones á las cuatro posiciones que resulten.

El interés de este asunto era extraordinario y preocupaba grandemente la atención de los astrónomos. Estaba anunciado un paso probable para el 22 de marzo de 1877. El Director del Observatorio de París dirigió, poco antes de esa fecha, una comunicación á muchos astrónomos de las cinco partes del mundo, excitándolos á observar el disco del Sol del modo más escrupuloso en los días 21, 22 y 23 del citado marzo. Decía Le Verrier, que después de una eliminación

delicada de las observaciones inconciliables, podía reconocerse que cinco de ellas parecían pertenecer, en efecto, á pasos de un planeta, á saber:

| | | | |
|-------------|-------|---------|----|
| Fritch | 1802, | Octubre | 10 |
| Decuppis | 1839, | Octubre | 2 |
| Sidebotham | 1849, | Marzo | 12 |
| Lescarbault | 1859, | Marzo | 26 |
| Lummis | 1862, | Marzo | 20 |

Parece difícil creer que observadores que no han tenido entre sí relación alguna, ni conocimiento de los períodos que estaban en discusión, hayan venido á fijarse casualmente sobre las cinco épocas exactas de un fenómeno que puede explicarse por el movimiento de un solo planeta.

El sabio Director del *Nautical Almanach* Mr. Hind dió mayor autoridad á estas conclusiones, haciendo conocer una sexta observación, la de Stark, del 9 de octubre de 1819, que también podía representarse por la misma órbita. Los pasos del planeta presentan períodos como todos los fenómenos del mismo género.

Considerando Mr. Airy que el planeta sólo tardaría en cruzar el disco del Sol dos ó tres horas, y que limitando las observaciones á Europa podía muy bien pasar inadvertido, telegrafió á los observatorios de la India, de Australia y de Nueva Zelanda; este último era de grande importancia, por estar situado en una longitud precisamente opuesta á la de Inglaterra. Otros telegramas se dirigieron á Wáshington, Santiago de Chile y San Francisco de California. Struve, Director del Observatorio de Pulkowa, avisó á los astrónomos de Siberia y del Japón; de suerte que, contando los Observatorios de Africa, se podía observar el fenómeno en toda la redondez de la Tierra, distando entre sí los Observatorios más apartados sólo dos horas; la única laguna era el inmenso Pacífico.

Llegó el deseado 21 de marzo de 1877; el tiempo en general fué bastante favorable para la inspección del disco solar, en el que sólo se percibieron algunas manchas sin importancia; este día, sin embargo, no era el crítico, sino el siguiente 22: pero tampoco se vió el planeta en ninguna de las múltiples estaciones esparcidas por el globo; pasó el día 23 y con él la última esperanza de los astrónomos; es cierto que el cálculo no indicaba un paso preciso, pues la distancia al nodo era de casi 11°, y así lo avisó Le Verrier, sin que tengan fundamento, por lo tanto, las críticas y censuras que algunos astrónomos se permitieron hacer de este asunto después, y *no antes*, de la fecha anunciada.

El profesor Watson, del Observatorio de Wáshington, observó el eclipse total de Sol del 29 de julio de 1878, y creyó distinguir una estrella rojiza en la constelación de Cáncer, de cuarta magnitud, que no presentaba elongación ninguna que hubiera podido hacer creer que se tratase de un cometa. El profesor Watson era un buen astrónomo, hábil y gozaba de buen concepto, que aleja toda idea de que pudiese haber en el asunto alguna superchería. La observación se hizo en condiciones excelentes. También en el eclipse total del 11 de enero de 1880, observado en California, se vió un planeta intramercurial; pero en ninguno de los posteriores, ni en el último del 28 de Mayo de 1900, á pesar de la perfección de los instrumentos y de la mayor atención y cuidado que los astrónomos han consagrado al asunto, se ha descubierto el enigmático cuerpo, por lo cual empieza á ser general la creencia de que no existe.

CAPITULO II

MERCURIO

Conocimientos de los antiguos sobre Mercurio. — Dimensiones y distancias de Mercurio.
Aspecto y movimientos de Mercurio. — Pasos de Mercurio por el disco del Sol

Como hemos visto en el capítulo anterior, la existencia de Vulcano es muy problemática, y por lo tanto, tenemos que admitir que Mercurio es el planeta conocido más próximo al Sol. Estudiado desde la más remota antigüedad, recibió de los egipcios los nombres de Set y de Horos; los indios lo llamaron Buda y Rohineya.

Por las ligeras ideas que apuntamos en la *Introducción* de este libro, sabemos que Mercurio, en su movimiento de revolución, ha de encontrarse á diversas distancias del Sol, ora á la derecha, ya á la izquierda de este astro. Por esta causa, dice Laplace, hubo de necesitarse una larga serie de observaciones para reconocer la identidad de los dos astros que se veían alternativamente por la mañana ó por la tarde, aproximarse al Sol y separarse de él; pero como jamás se veían ambos cuerpos al mismo tiempo, y el uno se presentaba únicamente cuando el otro había desaparecido, se vino al fin en conocimiento de que era un solo planeta que oscilaba á uno y otro lado del Sol. A esto se debe que, en casi todos los pueblos antiguos, dieran dos nombres á un solo y único cuerpo celeste; los griegos lo llamaban Apolo, el dios del día, cuando se encontraba al Oeste del Sol y anunciaba la aurora, y Mercurio, el dios de los ladrones, cuando era visible por la tarde, después de la postura del luminar del día, pues la noche protege las fechorías de los desalmados.

Los nombres de los planetas los hemos heredado de los latinos; pero, en realidad, son traducciones de voces griegas.

La observación más antigua que se registra sobre Mercurio se remonta al año 494 de la era de Nabonasar, esto es, 60 años después de la muerte de Alejandro Magno, en la mañana del día 19 del mes egipcio Toth, fecha que corresponde al 15 de noviembre del año 265 antes de J. C. El planeta distaba como un diámetro lunar de la línea que une las estrellas *beta* y *delta* de la constelación de Escorpión, y dos diámetros lunares, hacia el Norte, de la estrella *beta*. En la grande obra de Claudio Ptolemeo el *Almagesto*, se mencionan, además de ésta, otras observaciones que alcanzan hasta el año 134 de nuestra era.

En los anales de los chinos se registran observaciones de Mercurio, efectuadas el año 118 de la era cristiana; consisten, por lo general, en *apulsos*, nombre que se da á la aproximación de dos cuerpos celestes, como estrellas con planetas ó con la Luna, etc. Le Verrier ha comprobado la exactitud de algunas de estas observaciones de los astrónomos del Celeste Imperio, comparándolas con

los resultados obtenidos empleando las mejores tablas que existen de los movimientos de Mercurio, y en el mayor número de casos, el acuerdo ha sido en extremo satisfactorio. El 9 de junio de 1118, por ejemplo, observaron los chinos el planeta, cerca del grupo de estrellas llamado Proesepe, en la constelación de Cáncer; según los cálculos basados en las teorías modernas, en la tarde de ese día Mercurio se encontraba á menos de un grado de distancia del grupo de estrellas referido. Dice Hind que si bien la delicadeza y exactitud de las observaciones modernas hacen innecesario el uso de las antiguas posiciones de los planetas para la determinación de sus órbitas, presentan, sin embargo, mucha utilidad pues nos permiten comprobar nuestras teorías y cálculos, y desde este punto de vista son preciosas y extraordinariamente interesantes tan remotas observaciones.

Los romanos, cuyos conocimientos astronómicos no eran muy profundos, situaban á Mercurio entre Venus y Marte; Cicerón, en el *Sueño de Escipión*, supone que gira alrededor del Sol; idea que, según Macrobio, pasó de Egipto á Roma. A causa del notable brillo de este planeta, diéronle los griegos también el nombre de *Stilbon* (chispeante); jugó asimismo un papel de importancia en la astrología, y era signo maléfico, considerado como *sidus dolosum*. Debido, sin duda, á la rapidez de sus movimientos, pusieron los alquimistas el nombre de este planeta al azogue ó plata viva.

Es singular que un cuerpo tan brillante y conocido desde que existe la Historia, no hubiese sido visto jamás por Copérnico, que bajó á la tumba á los 70 años de edad lamentándose de que en toda su vida no le habían permitido las brumas del Vístula distinguir á Mercurio. Tycho-Brahe, en un clima tan desfavorable como el de la isla de Huen, pudo, sin embargo, observarlo varias veces á la simple vista. En nuestras latitudes se le ve con bastante facilidad.

Mercurio se representa por el símbolo ☿ en el que algunos creen ver un caduceo, atributo de esta divinidad.

El diámetro real de Mercurio es de 1.188 leguas kilométricas ó sean $\frac{373}{1000}$ del terrestre: su circunferencia mide, por lo tanto, 3.730 leguas; su superficie es siete veces más pequeña que la de nuestro globo (0,1415), y su volumen de 18 á 19 veces menor (0,052), tomando la Tierra por unidad.

El diámetro aparente del planeta oscila entre 4",5 y 12",9, alcanzando el primer valor en su conjunción superior y el segundo en la inferior; á una distancia de la Tierra igual á la que media de nuestro planeta al Sol, ó sea cuando se encuentra en una de sus elongaciones máximas, vale su diámetro unos 7". Como Mercurio presenta casi siempre fases semejantes á las de la Luna, según veremos dentro de poco, no es fácil determinar su verdadera forma, y, por lo tanto, su diámetro, sino cuando se proyecta como un punto negro sobre el disco del Sol, en uno de sus pasos. En el que se verificó en 1832 fueron varios los astrónomos que midieron su diámetro empleando micrómetros de gran precisión; Bessel, en particular, se valió de un instrumento de extraordinario mérito, exento de irradiaciones. Los valores obtenidos fueron los siguientes:

| | |
|--------------------------|-------|
| Bessel | 6".70 |
| Beer y Maedler | 5. 82 |
| Gambart. | 5. 18 |

El 5 de noviembre de 1868 hubo otro paso de Mercurio por el disco del Sol; pero las medidas que entonces se tomaron no son de confianza por la desfavorable situación en que se encontraban los dos astros, casi envueltos en las brumas y vapores del horizonte. En el de 1894, observado por Russell en Australia, obtuvo para el diámetro polar $6''.178$ y para el ecuatorial, $6''.241$, á la unidad de distancia.

Con más claridad que los guarismos indica la figura 49 las relaciones de magnitud que hay entre la Tierra y Mercurio.

Lalande creyó observar en el paso de 1779 alguna diferencia entre los diámetros de Mercurio, presentando un aplastamiento sensible la mancha negra que se destacaba sobre el fondo brillante del globo solar; pero Arago duda que el astrónomo francés dispusiera de medios bastante exactos, para llevar á cabo una medida tan delicada, de fracciones de segundo. Dawes, en 1848,

evaluó el aplastamiento del planeta, ó sea la diferencia que existe entre el diámetro polar y el ecuatorial, en $\frac{1}{20}$; según las observaciones de Otto Struve hechas durante el paso del 5 de noviembre de 1868, la forma del planeta no es rigurosamente esférica, sino más bien elíptica ó aplastada, como la de la Tierra y de los demás cuerpos que componen el sistema solar, cosa probada ya por las observaciones de los últimos pasos.

En la fig. 48, pág. 73, se representan las órbitas de Mercurio y la Tierra en sus verdaderas relaciones de posición y magnitud, y fácilmente se echa de ver que las distancias entre ambos planetas deben variar de un modo considerable, pues dependen de sus posiciones relativas; siendo, como hemos dicho, más débiles cuando Mercurio se halla en conjunción superior, ó sea cuando pasa entre nosotros y el Sol, ó por detrás de este astro. En la fig. 50 se representan las dimensiones aparentes de Mercurio á sus distancias máxima, media y mínima de la Tierra. Siendo la órbita de Mercurio muy excéntrica, su distancia al Sol varía entre límites tan considerables como de seis millones de leguas entre dos posiciones opuestas: en su afelio se encuentra á 17.250.000 leguas del astro central: en su perihelio, á 11.375.000 leguas; y en un punto intermedio de su carrera, á 14.300.000 leguas.

Cuando Mercurio se encuentra en una de sus elongaciones, dista de la Tie-

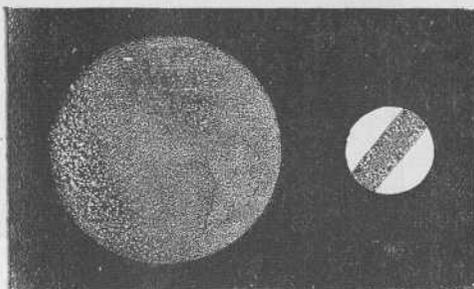


Fig. 49. - Dimensiones comparadas de la Tierra y Mercurio

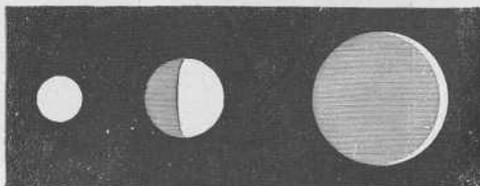


Fig. 50. - Dimensiones aparentes de Mercurio á sus distancias extremas y media de la Tierra

rra lo mismo que el Sol; en su conjunción superior, esta distancia, más la que hay del planeta al astro central; y en su conjunción inferior, la que media entre el Sol y la Tierra, menos la del planeta al Sol. Sin embargo, debido á la forma elíptica de las órbitas de Mercurio y de la Tierra y á sus inclinaciones respectivas, son variables las distancias entre los dos planetas, aun en estas posiciones

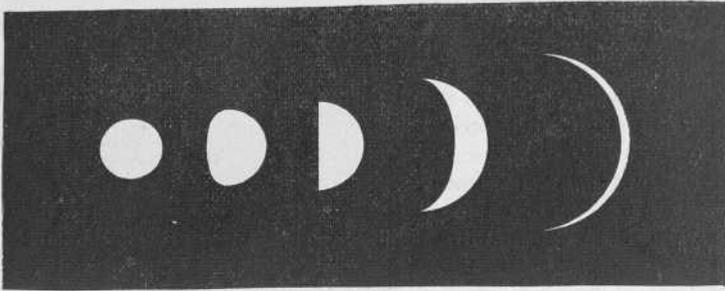


Fig. 51. — Fases de Mercurio en el crepúsculo vespertino

particulares. La más pequeña, hechas todas las correcciones necesarias, es de 80 millones de leguas y la mayor de 215 millones, esto es, casi triple de la anterior.

Este planeta es visible pocas veces por su proximidad al Sol, en cuyos resplandores va casi siempre envuelto; por la tarde, después de la postura del astro lumínico del día, sobre el fondo inflamado del cielo, se ve brillar una estrella de

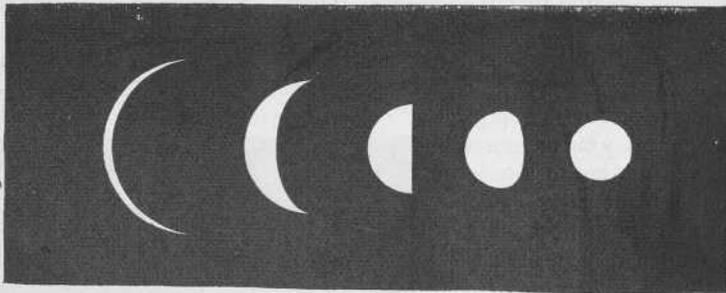


Fig. 52. — Fases de Mercurio en el crepúsculo matutino

luz viva y rápido centelleo; esta estrella es Mercurio. Poco á poco, y en virtud del movimiento diurno, se aproxima al horizonte, siguiendo casi la misma ruta que el Sol, hasta que desaparece. Al día siguiente se observa que la distancia que separa al planeta del Sol ha aumentado, y que sigue creciendo de día en día, hasta llegar á un límite en que permanece estacionario, volviendo á aproximarse al Sol, y desapareciendo, finalmente, envuelto en sus resplandores.

Si nos valemos de un anteojo poderoso y lo dirigimos á Mercurio, cuando por la tarde se presenta á corta distancia del Sol, veremos que ofrece un disco casi circular (fig. 51); á medida que se separa del Sol, la parte occidental, es de-

cir, la más próxima á este astro, conserva su forma circular, mientras que la región oriental ofrece una figura elíptica. Algunos días después, su contorno es muy semejante al de la Luna en cuarto creciente: el borde occidental es circular, y el opuesto parece una línea recta perpendicular, á la que une el centro del Sol y el del planeta. Más tarde, la parte recta se convierte en una línea curva cuya convexidad se dirige hacia occidente, ó sea hacia el Sol, presentando el planeta el aspecto de la Luna antes del primer cuarto. Por último, al acercarse de nuevo el planeta al Sol, adquiere la forma de una hoz en extremo delgada, que termina al occidente por un semicírculo y al oriente por una curva elíptica, que difiere muy poco de un semicírculo, y cuya concavidad se dirige al lado opuesto del Sol.

Si se examina á Mercurio por la mañana, antes de la salida del Sol, se observan los mismos fenómenos que hemos descrito, pero en sentido contrario (fig. 52); hacia el oriente estará terminado por un arco de círculo, y hacia el occidente por un arco de elipse, cuya convexidad se dirigirá al lado opuesto al Sol, y luego aparecerá como una línea recta. Estos aspectos dependen del movimiento de revolución del planeta alrededor del Sol, y sólo se explican admitiendo que Mercurio es un cuerpo esférico y opaco, que refleja la luz que recibe del astro central. En su movimiento en torno del Sol, el hemisferio iluminado se dirige siempre hacia este astro, de

suerte que, desde la Tierra, hemos de distinguir una parte más ó menos iluminada del planeta, según la situación que ocupe respecto de nosotros. En la figura 53 se representa el Sol en el centro, y á su alrededor el globo de Mercurio en distintas posiciones de su órbita, y en la parte exterior las fases que corresponden á estas posiciones: cuando el planeta se halla en conjunción inferior en V, presenta á la Tierra, T, su hemisferio obscuro; siendo, por lo tanto, invisible para nosotros. En la época de las cuadraturas ó de su elongación máxima en V', podemos distinguir la mitad del disco iluminada y la otra mitad obscura; en la conjunción superior se manifiesta el disco completamente iluminado.

Un experimento que cada cual puede hacer sin dificultad, dará al lector una idea clara de los movimientos de Mercurio.

Imaginémonos que en un prado, ó en cualquier otro lugar llano y descubier- to, plantamos un pie derecho ó poste, que representa el Sol, y que un individuo (fig. 54) describe, corriendo de derecha á izquierda, un círculo á su alrededor.

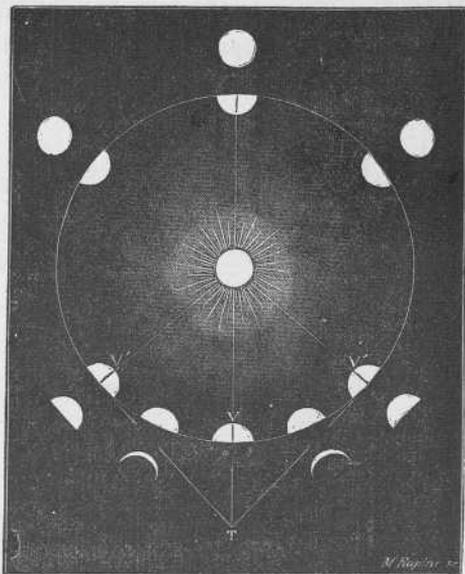


Fig. 53. — Explicación de las fases de Mercurio

El observador, colocado por la parte exterior del círculo y á cierta distancia prudencial, verá que su compañero pasa unas veces por delante y otras por detrás del poste, según que recorra el semicírculo que está hacia acá ó hacia allá; en el primer caso, la impresión será de que corre de izquierda á derecha, y en el segundo, de derecha á izquierda. Aunque la velocidad de la carrera sea uniforme, parecerá, sin embargo, mayor en los momentos en que el individuo se encuentre en línea recta con el poste, disminuyendo considerablemente cuando el sentido ó dirección de la marcha circular aparentemente cambie.

Póngase ahora á caminar el observador, en el mismo sentido, por el otro círculo mayor en que se encuentra, pero con menor velocidad que su compañero, y notará que las apariencias permanecen constantes y que persisten las esta-

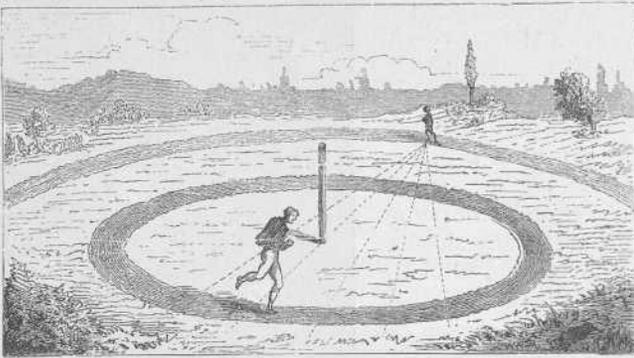


Fig. 54. — Estaciones y retrogradaciones de Mercurio

ciones y retrogradaciones; mas su período será, empero, más largo, pareciendo al mismo tiempo que el poste gira, proyectándose sobre el horizonte cuyos puntos recorre en totalidad, si se da una vuelta completa.

El poste representa el Sol; el individuo que corre por el círculo interior, Mercurio, y el observador es la Tierra.

Demos ahora una explicación más científica para que quede este punto perfectamente aclarado.

Supongamos que Mercurio se encuentre en M, al lado opuesto del Sol, con relación á la Tierra T (fig. 55); en esta situación se dice que se halla en *conjunción superior*, y puede encontrarse detrás precisamente del globo solar, ó más alto, ó más bajo, pero confundido, en estos dos últimos casos, en los rayos del Sol; si fuera posible observarlo en esta posición, se nos presentaría completamente iluminado como la Luna llena; pero es invisible, bien por estar en realidad oculto por el disco del Sol, ó por ser su luz prestada demasiado débil para superar á la del astro principal. La flecha marca la dirección que, desde este momento que hemos elegido, va á seguir el planeta al recorrer su órbita de occidente á oriente; pasa al Este del Sol, y separándose de él cada vez más, se hace visible, por no estar ya envuelto en sus resplandores. Mientras tanto, la Tierra se ha movido asimismo en su órbita; la velocidad angular del planeta disminuye poco á poco

hasta quedar inmóvil, *estacionario*, al parecer; en esta situación alcanza su mayor distancia angular aparente al Este del Sol, y se dice que está en su *elongación máxima oriental*. Desde aquí comienza á caminar con velocidad creciente, en sentido retrógrado en la apariencia, pero directo en realidad, aproximándose cada vez más al Sol y recorriendo su órbita en la parte más próxima á la Tierra. Vuelve á sumergirse en los rayos solares, y al llegar al punto M' se encuentra entre el Sol y la Tierra T' ó sea en su *conjunción inferior*. Poco antes y después de esta situación camina Mercurio con la mayor velocidad, y siguiendo su ruta eterna aparece al occidente del Sol, alcanza su *máxima elongación occidental*, pareciendo de nuevo *estacionario*, y oscilando otra vez, llega al punto M'',

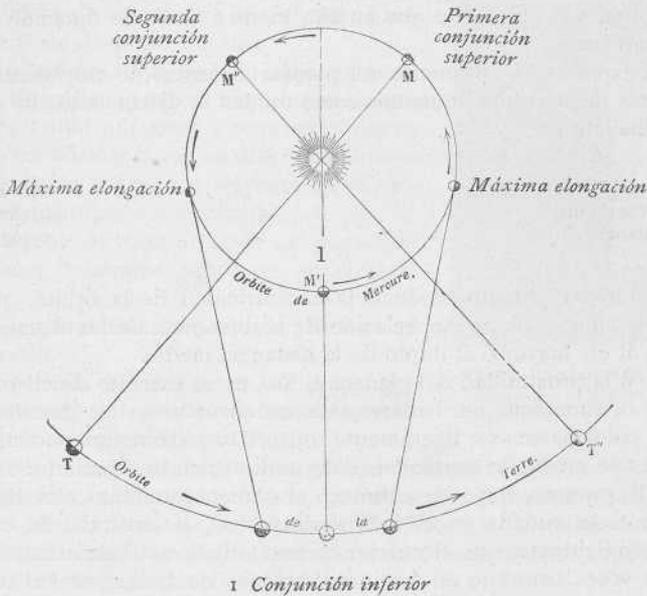


Fig. 55. — Explicación del movimiento aparente de Mercurio

al lado opuesto del Sol con relación á la Tierra T'', esto es, se encuentra por segunda vez en *conjunción superior*.

Si la Tierra hubiera permanecido inmóvil, los puntos M M'' serían idénticos, y el periodo de la revolución aparente del planeta tendría el mismo valor que el de la revolución efectiva alrededor del Sol; pero como la Tierra camina al mismo tiempo que Mercurio, aunque con distinta velocidad, tarda más tiempo el planeta en volver á hallarse en línea recta con el Sol, pues recorre su órbita entera y además el arco M M'', de unos 116°; esto en el lenguaje astronómico se expresa diciendo que la *revolución sinódica* es más larga que la *revolución sidérea*.

Estos términos exigen una explicación. Se llama revolución sidérea de un planeta el intervalo de tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del as-

tro por un mismo punto de su órbita, de suerte que, visto desde el Sol, parezca que coincide con una misma estrella del cielo, que para este caso pueden suponerse fijas é invariables. Revolución sinódica de un planeta es el intervalo comprendido entre dos conjunciones ú oposiciones consecutivas, ó de otro modo, la vuelta del planeta á una misma posición anterior respecto del Sol, según se ve desde la Tierra.

La órbita de Mercurio ofrece un desarrollo de 89 millones de leguas, recorriéndola el planeta en $87^d 23^h 15^m 43^s,9$, resultando una velocidad media diaria de 1.012,500 leguas, ó de 12 leguas por segundo; es el planeta que con mayor velocidad camina, y la razón de esto la daremos más adelante. Vemos, pues, que Mercurio gira cuatro veces próximamente alrededor del Sol, mientras la Tierra lo verifica una vez, de suerte que su año viene á tener de duración la cuarta parte del terrestre.

Si para expresar las distancias del planeta al centro de movimiento en distintos puntos de su órbita, tomamos como unidad la distancia media de la Tierra al Sol, hallamos:

| | |
|------------------------------|---------|
| Distancia afelia. | 0,46669 |
| Distancia media. | 0,38710 |
| Distancia perihelia. | 0,30750 |

de cuyos números podemos deducir la excentricidad de la órbita, que es tan considerable como de 0,20560, relación de la diferencia de las distancias afelia y perihelia al eje mayor ó al duplo de la distancia media.

Debido á la proximidad del planeta al Sol, es en extremo difícil observar el aspecto de su superficie, por hallarse siempre envuelto en los destellos crepusculares; su color parece ser ligeramente rojizo. Dos astrónomos se ocuparon antiguamente, de un modo particular, del estudio físico de Mercurio: Schroeter y Herschel. El primero creyó descubrir en el planeta montañas elevadas; una de ellas, sobre todo, situada en el hemisferio austral, se mostraba de cuando en cuando; notó Schroeter que el cuerno correspondiente al hemisferio Sur aparecía algunas veces truncado en las inmediaciones de la conjunción inferior, fenómeno (fig. 56) que podía atribuirse á la interposición de alguna alta montaña que detuviese los rayos del Sol. La altura de la montaña cabía determinarla por la extensión de la truncadura que produce, y no ha de medir menos de tres leguas, elevación que no alcanza ningún monte de la Tierra, con ser nuestro planeta mucho más grande que Mercurio, según hemos visto antes. En el grabado aparece truncado el cuerno superior porque el dibujo se hizo con un anteojo astronómico, resultando, por esta causa, invertida la imagen.

Determinó Schroeter el movimiento de rotación de Mercurio sobre su eje, por los diversos aspectos de su superficie; este movimiento, semejante al de nuestro globo, se verificaba en $24^h 5^m 48^s$, lo que equivale á decir que esta era la duración del día sidéreo en el planeta. Herschel intentó comprobar la exactitud de la afirmación de Schroeter, pero sin resultado. En este estado permanecía el asunto, sin que á nadie se le ocurriera que las observaciones del astrónomo alemán fuesen absolutamente erróneas; se admitía, sí, alguna pequeña dife-

rencia en el valor de los segundos y aun de los minutos, considerando los instrumentos imperfectos de que se valió y lo delicado de la observación, por lo cual Bessel, valiéndose de los mismos elementos de Schroeter, modificó el anterior período y lo supuso de $24^{\text{h}} 0^{\text{m}} 52^{\text{s}},97$, cuando en 1889 empezó á hacerse público que el astrónomo Schiaparelli, Director del Observatorio de Brera, cerca de Milán, se dedicaba hacia siete años al estudio asiduo de Mercurio y había hecho el notable descubrimiento de que el período de rotación era igual al de revolución. Sus observaciones las efectuaba en pleno día, pues durante los crepúsculos está el planeta muy bajo, y la refracción y movimientos de la atmósfera terrestre quitan pureza á la imagen. Desde 1882 á 1889 hizo Schiaparelli 150 dibujos del aspecto del planeta, siendo uno de los mejores el del 11 de agosto de 1882, al estar Mercurio á sólo 3° de distancia del Sol.

En su superficie se distinguen algunas manchas poco marcañas y unos trazos grises, que afectan la forma del número 5. Como este aspecto, observado á las mismas horas en días consecutivos era idéntico, cabía establecer, respecto de su movimiento, las tres hipótesis siguientes:

1.^a El tiempo de rotación es de 24^{h} poco más ó menos, como determinó Schroeter en el siglo pasado.

2.^a El planeta efectúa dos rotaciones en el mismo intervalo.

3.^a El período de rotación es tan lento, que no permite advertir las pequeñas modificaciones que presente la superficie del planeta.

Schiaparelli se ha decidido por esta última hipótesis, admitiendo que el período de rotación y el de revolución son iguales, y que el planeta gira alrededor del Sol en el mismo tiempo que da una vuelta sobre su eje, esto es, en unos 88 días. De aquí se deduce que un hemisferio de Mercurio está perpetuamente iluminado y el otro en perpetuas tinieblas.

Este descubrimiento, que así echaba por tierra la creencia general y admitida del rápido movimiento de Mercurio sobre su eje, al cual da gran verosimilitud el hecho, repetidamente comprobado, de su considerable achatamiento polar, produjo gran asombro entre los astrónomos, que en general no se mostraron demasiado hostiles á la nueva hipótesis; pero poco á poco ha ido rehaciéndose la opinión, y hoy día todos permanecen en una prudente cautela, aguardando que nuevos estudios vengan á ilustrar la materia.

Los últimos publicados se deben á Mr. Lowell, que en 1897 dió á luz varios trabajos y dibujos resumiendo sus observaciones. Según este astrónomo, las manchas del planeta son distintas, oscuras y de carácter lineal, en su mayor parte; ambos polos están sombreados, y una banda muy visible, oscura, separa el polo austral del resto del planeta; es continua y de muchos grados de longitud, y probablemente da la vuelta á todo el planeta. El período de rotación lo halló sincrónico con el de revolución; confirmando, pues, el descubrimien-

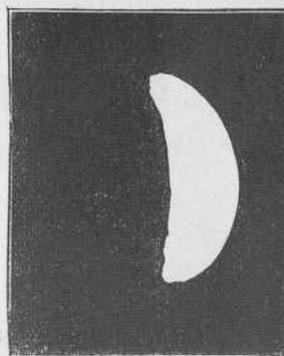


Fig. 56. — Cuernos de Mercurio, según las observaciones de Schroeter.

miento de Schiaparelli. Las manchas son permanentes y constantemente visibles, lo que muestra la ausencia de nubes y la existencia de una atmósfera de excesiva transparencia. La superficie del planeta es de un ligero color rojizo y no presenta modificaciones ó cambios que pudieran coincidir con los fenómenos de las estaciones.

Al hallarse el disco de Mercurio iluminado por mitad, se observa que la línea de separación de la luz y la sombra presenta sinuosidades como las de una sierra ó cordillera, repitiéndose este fenómeno con intervalos regulares. No se conoce con exactitud la inclinación del eje de rotación de Mercurio; Schroeter la determinó por la observación de unas bandas oscuras situadas en el ecuador, formadas probablemente por nubes ó masas de vapores arrastradas á esa región

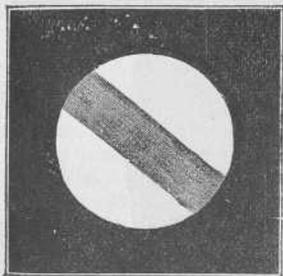


Fig. 57. - Bandas ecuatoriales de Mercurio

por corrientes regulares parecidas á los vientos alisios de la Tierra (fig. 57). Aceptando esta hipótesis, resulta que el eje de Mercurio está inclinado sobre el plano de su órbita unos veinte grados, y su ecuador sobre el mismo plano unos setenta grados. Todo esto es muy dudoso.

Sabemos ya que la órbita de Mercurio no coincide con la eclíptica ú órbita de la Tierra y que forma con ella un ángulo de 7° ; si así no fuese, siempre que el planeta se encontrara en una de sus conjunciones, pasaría precisamente por delante ó por detrás del globo solar, según que la conjunción fuese inferior ó superior, en vez de verificarlo por encima ó por debajo del astro central. Algunas veces, sin

embargo, cuando Mercurio se encuentra próximo á uno de sus nodos ó puntos en que, al recorrer su órbita, corta á la eclíptica, puede proyectarse sobre el disco del Sol ú ocultarse tras él. Esto se observa en el intervalo que transcurre entre la desaparición de Mercurio por la tarde, y su reaparición por la mañana; presentándose sobre el Sol una hermosa mancha negra, que entra por el borde oriental del disco, avanza con una velocidad uniforme hacia el centro y llega al limbo opuesto, por donde desaparece. De varios medios podemos hacer uso para convencernos de esta verdad.

En primer lugar, la mancha se mueve de oriente á occidente, esto es, en la misma dirección en que lo verificaba el planeta antes de su desaparición; conserva también la misma velocidad, y su diámetro es igual al que ofrecía Mercurio, cuando era visible sobre el fondo del cielo. Por otra parte, se diferencia de las verdaderas manchas solares en que éstas tardan en cruzar el disco del Sol unos 14 días, mientras que Mercurio describe su cuerda de un borde al otro en algunas horas y con una velocidad uniforme desde su ingreso ó inmersión hasta que desaparece por el limbo opuesto, mientras que las verdaderas manchas solares caminan con más velocidad en el centro que en los bordes. Por último, las manchas solares presentan casi siempre un contorno irregular y están rodeadas por la aureola luminosa llamada penumbra, mientras que el planeta ofrece un disco negro, perfectamente circular. Su color es mucho más profundo que el de las manchas de la fotosfera.

Al pasar Mercurio entre la Tierra y el Sol, vuelve hacia nosotros su hemisferio obscuro, según hemos explicado al tratar de sus fases; el astrónomo árabe Alpetrage suponía que el planeta era luminoso por sí mismo, fundándose en que jamás lo había visto proyectarse sobre el disco solar; pero ya sabemos que, debido á la inclinación de su órbita, los pasos de este cuerpo son fenómenos que ocurren de tarde en tarde.

Las mediciones más exactas de su diámetro se han efectuado en estas circunstancias, pues cuando Mercurio es visible al oriente ó al occidente del Sol, el centelleo de su luz, la desigualdad de sus fases y el fenómeno de irradiación hacen muy inseguras las medidas micrométricas. El diámetro aparente de los cuerpos varía según la intensidad de su luz, ya sea ésta propia ó reflejada, y según también su color y el del fondo sobre el cual se proyectan. Este efecto óptico

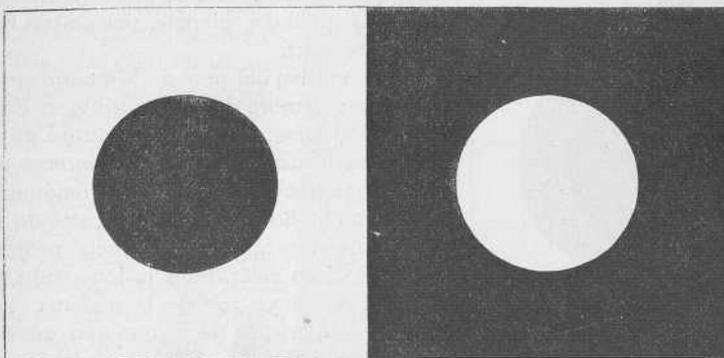


Fig. 58. — Fenómeno de irradiación

se manifiesta de un modo muy sensible trazando dos círculos perfectamente iguales, el uno negro sobre fondo blanco, y blanco sobre fondo negro el otro, como se muestra en la fig. 58. El disco blanco parece mayor que el negro, á pesar de que sus dimensiones son exactamente iguales.

El famosísimo médico y astrónomo árabe Averroes, que floreció en el siglo XII, creyó observar un paso de Mercurio á la simple vista, pues aún no se había descubierto el antejo; pero debemos suponer que más bien observaría una mancha solar, toda vez que Mercurio en su conjunción inferior subtiende un ángulo de sólo $12''$, y ya sabemos que un objeto de estas dimensiones aparentes, aunque se proyecte sobre el disco del Sol, no es perceptible sin el auxilio de aparatos ópticos, y que tan sólo las manchas que miden más de $50''$ pueden distinguirse á la simple vista.

Scalígero y Keplero creyeron ver un paso de Mercurio el 28 de mayo de 1607; pero estas observaciones tampoco parecen dignas de confianza. Este último observador, en su obra *Admonitio ad Astronomos*, anunció un paso de Mercurio para el 7 de noviembre de 1631, que fué observado por Gassendi, profesor del colegio de Francia y canónigo de Digne. Esta es la primera observación exacta que se registra en la historia de la Astronomía.

Gassendi observó el fenómeno proyectando la imagen del Sol sobre un papel blanco en una cámara oscura, según el procedimiento de Scheiner para estudiar la superficie solar. Dió cuenta de su observación en términos hiperbólicos y con alusiones á la piedra filosofal de los alquimistas; dice así en su *Opera Omnia*: «El astuto dios pensó engañar á los astrónomos, pasando sobre el Sol un poco antes de lo que se aguardaba y tendiendo un velo de densas nubes sobre la Tierra, con objeto de escaparse más fácilmente; pero Apolo, que conoce sus bellaquerías desde niño, no quiso permitirle que pasara inadvertido. En una palabra, he sido más afortunado que esos cazadores de Mercurio que han visto al malicioso dios en el Sol; lo encontré fuera y lo vi en donde nadie pudo distinguirlo antes que yo.»

La primera observación de un paso completo de Mercurio se debe á Halley, que vió en la isla de Santa Elena la entrada y salida del planeta, por ambos limbos del disco solar.

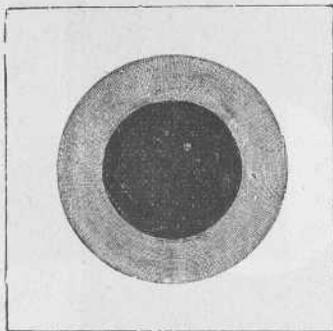


Fig. 59. — Paso de Mercurio del 7 de mayo de 1799. Aureola luminosa y punto brillante del disco, según las observaciones de Schroeter.

Con motivo del paso de Mercurio ocurrido el 4 de noviembre de 1868, visible en Europa, publicó el Director del Observatorio de París unas Instrucciones para los astrónomos aficionados que pensasen estudiar el fenómeno. A la salida del Sol, en una gran parte de Europa, debía encontrarse el planeta proyectado sobre el disco solar, pues la inmersión se verificaba á las 5^h 30^m de la mañana, tiempo medio de París, es decir, que aún era de noche en toda Europa. El planeta debía presentarse en la parte inferior del disco, avanzando poco á poco hacia el borde occidental, al que llegaría á eso de las 9^h 15^m; entonces tendría

lugar la emersión, cuyo instante preciso era de desear que se determinase con la mayor exactitud posible; añadía Mr. Le Verrier que, tratándose únicamente de fijar el momento en que se verificaba un fenómeno físico, no era necesario, para observarlo con utilidad para la ciencia, ser un astrónomo consumado; y que, por otra parte, siendo en el mes de noviembre tan frecuentes las lluvias y el mal tiempo, excitaba el celo de los individuos que poseyesen un cronómetro y un buen anteojo, para que observasen un fenómeno que, por causas atmosféricas, podía escapar á la investigación de los astrónomos de oficio.

El instante de la emersión es susceptible de una determinación más exacta, cuando el círculo negro del planeta forma un contacto interior con el círculo luminoso del Sol. Al llegar la mancha negra formada por la proyección del planeta sobre el disco solar al borde occidental, la parte luminosa comprendida entre Mercurio y ese borde se reduce á un filete delgadísimo, que luego, de repente, se rompe. Este es el instante preciso del fenómeno, que sirve para determinar la posición del planeta con extraordinaria exactitud. El observador deberá hacer uso de una amplificación poderosa, y en el caso de disponer de un buen anteojo, sería muy conveniente determinar si el filete luminoso conserva aún un

espesor notable en el momento de la ruptura. Le Verrier no dió el momento preciso de la emersión, porque se tiene como regla de Astronomía que un observador no debe conocer el instante que se trata de determinar; pues, de otra suerte, puede temerse que, por grande que sea su buena fe, se deje influir por un resultado conocido de antemano.

En casi toda Europa se hicieron observaciones de este paso, confirmándose muchas de las teorías fundadas en los hechos observados en los pasos anteriores. En el Observatorio de Madrid observó el Sr. Ventosa el fenómeno de la *gota negra*, que consiste en que el anillo luminoso no se rompe por un solo punto, sino por varios á la vez, como si una gota de agua tocase en la superficie de un cuerpo susceptible de ser mojado.

Huggins en Londres notó una aureola luminosa alrededor del planeta y un punto brillante casi en el centro del disco, confirmándose, por lo tanto, las observaciones anteriores de otros astrónomos. El anillo de luz parecía más brillante que la fotosfera y de una anchura igual, poco más ó menos, á un tercio del diámetro de Mercurio, conservando la misma intensidad desde el borde del planeta hasta el límite exterior. La fig. 59 representa el aspecto de Mercurio observado por Schroeter durante el paso del 7 de mayo de 1799,

y es perfectamente comparable á la observación de Huggins, salvo la posición del punto brillante, que este último astrónomo coloca casi en el centro.

El aspecto general de un paso de Mercurio observado con medianos instrumentos, es tal como se representa en la fig. 60, en la cual se marcan las posiciones del planeta á su ingreso y egreso y en el centro del disco solar, y las cuerdas que describió en los pasos de 1861 y 1868. Los últimos observados ocurrieron el 8 de noviembre de 1881 y el 10 de noviembre de 1894; este último fué objeto de estudio para el Sr. Comas, de Barcelona, quien notó, que el color negro del planeta contrastaba vivamente con el tono, relativamente más claro, del núcleo de las manchas.

Después de Keplero, se ocuparon Halley y Delambre en calcular los pasos de Mercurio. Halley determinó sus períodos, que son de 6 á 7 años, de 13, de 46 y de 263, verificándose siempre en los meses de mayo ó de noviembre, épocas en que Mercurio se encuentra en uno de sus nodos; en las efemérides que hoy día y con distintos nombres se publican en toda Europa, se anuncian los pasos que pueden ocurrir. En el siglo xx habrá ocho pasos, siendo los más próximos

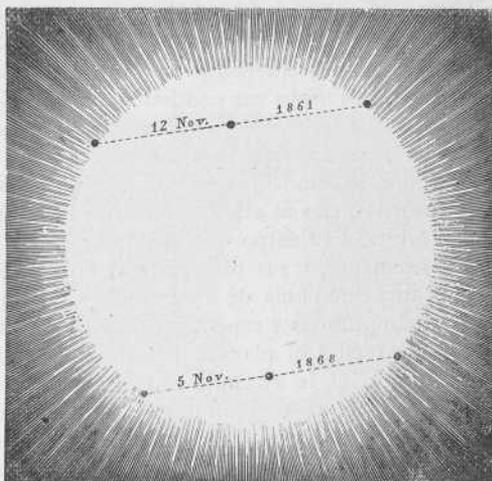


Fig. 60. — Pasos de Mercurio por el Sol el 12 de noviembre de 1861 y el 5 de noviembre de 1868

los del 14 de noviembre de 1907, 7 de noviembre de 1914 y 8 de mayo de 1924.

El primer paso del siglo XXI ocurrirá el 7 de mayo del año 2030.

A pesar de la inmensa distancia que nos separa de la mayor parte de los cuerpos celestes, son tantos y tan importantes los elementos que la ciencia ha logrado reunir sobre la constitución de los astros, especialmente de los que componen el sistema solar, que de algunos, de muchos de ellos, podemos trazar una monografía tan completa casi como de nuestra misma Tierra; mejor conocemos, por ejemplo, los accidentes del suelo lunar, que la geografía del centro de Africa.

Comparando las distancias de los planetas al Sol con la que nos separa del mismo lumínar; estudiando sus masas y dimensiones, la inclinación de sus ejes y la extensión de sus órbitas; la duración de sus movimientos de traslación y de revolución, y los accidentes que el telescopio nos revela en su superficie, podemos, sin grande esfuerzo, presumir cuánto durarán sus años, estaciones, días y noches; cuáles serán sus condiciones climatológicas; cuál la composición de sus atmósferas, si las tienen; y en una palabra, cuál podrá ser la organización de los seres que, según opiniones autorizadísimas, pueblan esos mundos lejanos. De todos ellos, sabemos que es Mercurio el que más próximo se encuentra al Sol, y que sus distancias al astro central son muy variables á causa de la excentricidad de su órbita. El tiempo que tarda el planeta en pasar del afelio al perihelio es de seis semanas, y sus distancias al Sol, en el mismo intervalo de tiempo, presentan una diferencia de seis millones de leguas; por estos datos podemos calcular cuán grandes y repentinos han de ser los cambios en la cantidad de luz y calor que reciba el planeta. En efecto, en su perihelio, esto es, á su distancia mínima del Sol, le transmite este astro diez veces y media más luz y más calor que los que envía al globo terráqueo, pareciendo el disco solar diez veces y media mayor que sobre el horizonte de nuestro globo; en el afelio, quedan reducidas estas dimensiones á cuatro veces y media el tamaño de nuestro Sol, por decirlo así, y á la mitad de la primera magnitud indicada anteriormente, para los habitantes de Mercurio; á su distancia media, la intensidad de la luz y del calor que recibe del Sol viene á ser como unas siete veces la que absorbe la Tierra en los límites de la atmósfera; en esta afirmación no hay nada arbitrario, pues conocemos perfectamente las leyes de propagación del calor y la luz. La cantidad total de calor y de luz que recibe Mercurio, comparada con la que recibe la Tierra, viene á ser como $\frac{95}{100}$, toda vez que depende de la extensión de las superficies expuestas á los rayos solares.

Vemos, pues, que la fuerza del calor y de la luz en el planeta Mercurio es mucho más grande que en nuestro globo, y que un habitante de la Tierra difícilmente podría vivir en un planeta cuya temperatura fuese, en el intervalo de cuarenta días, ora la del hielo, ya la del aceite hirviendo; sin embargo, hasta ahora no hemos considerado más que la distancia del astro al Sol, y no es de este único elemento del que depende la temperatura, sino también, y en parte principalísima, del espesor y transparencia de la atmósfera mercurial; la envoltura gaseosa de los planetas sirve, entre otras muchas cosas, para moderar la intensidad de los rayos solares y para mitigar el rigor de las estaciones y las pérdidas de calor debidas á la irradiación nocturna de los rayos oscuros.

Hemos visto en las páginas anteriores que Mercurio está dotado de una at-

mósfera bastante extensa, de un espesor igual á la tercera parte del diámetro del planeta, según han podido observarla Plantade, Flaugergues, Messier, Mechain, Schroeter, Moll, Huggins, Secchi y otros astrónomos.

Ya hemos dicho que en 1799 Schroeter y Harding vieron el fenómeno como se representa en la fig. 59, reproducida de un dibujo antiguo del primero de estos observadores; el doctor Moll, en el paso de 1839, observó también el anillo nebuloso, que le pareció dotado de un color violeta.

Es cierto también, sin embargo, que durante el paso del 5 de noviembre de 1868, que fué observado en toda Europa por más de cincuenta astrónomos, tan sólo el inglés Huggins notó la aureola luminosa de que nos venimos ocupando. Para Huggins la aureola es más brillante que el disco solar.

Hasta hace pocos años se admitía que el planeta Mercurio estaba rodeado por una atmósfera muy densa que daba lugar á variados fenómenos; hoy día se

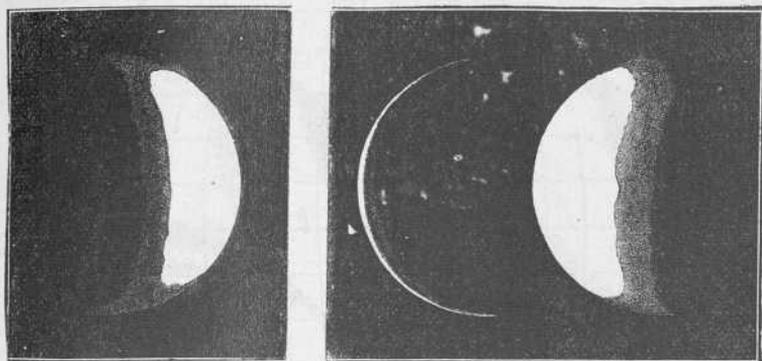


Fig. 61. — Línea de separación entre la luz y la sombra: crepúsculo de Mercurio

cree que se trataba sólo de ilusiones. Diremos, sin embargo, algo acerca de las teorías sostenidas hasta época muy reciente.

Como el círculo terminador de las fases de Mercurio no presenta una línea definida entre la luz y la sombra, sino difusa, como se ve en los dibujos de Schroeter que reproducimos (fig. 61), se indicó que esta zona ó penumbra había de resultar de la absorción de los rayos solares por las capas atmosféricas de Mercurio, de un modo análogo á lo que sucede en la Tierra; y que ésta era, pues, la luz del crepúsculo que ocupaba la región que media entre la parte iluminada y la oscura del disco de Mercurio. De otro lado, y apoyándose en las observaciones de Schroeter, calcularon Beer y Maedler que la parte luminosa, ó fase del planeta, debiera ser más ancha de lo que resultaba de la observación, fenómeno que no puede explicarse sino admitiendo la existencia de una atmósfera mercurial bastante densa.

En ocasiones se han observado también en el disco de Mercurio unas manchas ó bandas oscuras, de formación tan rápida, que presentaban gran analogía con nuestras nubes; la luz del disco también se estimaba que disminuía gradualmente del centro hacia los bordes, y este hecho era otra prueba de la existencia

de una atmósfera. Finalmente, el análisis espectral, método maravilloso de investigación, reveló de un modo indudable, al parecer, que la atmósfera de Mercurio ejerce sobre los rayos solares una absorción tan grande, que sólo es comparable con la de nuestra atmósfera, en las regiones inmediatas á la superficie terrestre.

Sobre el punto luminoso observado en el disco mercurial por Schroeter y últimamente por Huggins, es difícil formar una opinión definitiva; algunos pretenden explicar el hecho admitiendo la existencia de volcanes en ignición; pero

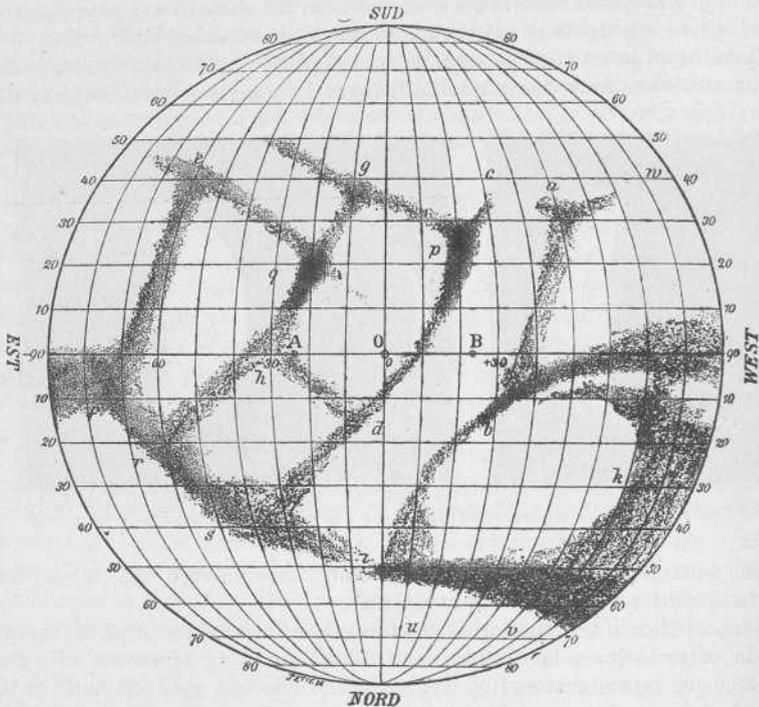


Fig. 62. — Planisferio de Mercurio según las observaciones de Schiaparelli

esta hipótesis es algo aventurada, pues sería necesario suponer un cráter de unas dimensiones extraordinarias para que sus fuegos se viesen desde la Tierra; otros astrónomos creen que el punto brillante se debe á un fenómeno de difracción producido por las lentes; pero en este caso no se comprende su posición excéntrica en el disco, ni se explica el movimiento progresivo observado por Schroeter, que se atribuía al movimiento de rotación del planeta sobre su eje.

La fig. 62 representa el aspecto de Mercurio según un dibujo de Schiaparelli, en el cual pueden verse las tenues manchas ó líneas que han servido á este ilustre astrónomo para derribar todo cuanto se había edificado basándose en

las antiguas observaciones, principalmente de Schroeter. En el planisferio, el diámetro horizontal representa el ecuador, que se supone en el plano de la órbita; el centro de proyección es O, con el Sol en el cenit, en el momento del afelio ó del perihelio; como la excentricidad de la órbita de Mercurio es muy grande, el movimiento llamado de libración en longitud es considerable también, y nos permite ver, de vez en cuando, algo más de un hemisferio del planeta, ya por el Este, ya por el Oeste; pero del otro hemisferio, opuesto siempre al Sol, no veremos nunca nada. Uno de ellos está perpetuamente iluminado y caldeado hasta un grado extraordinario, y cuenta siempre, por decirlo así, mediodía. En

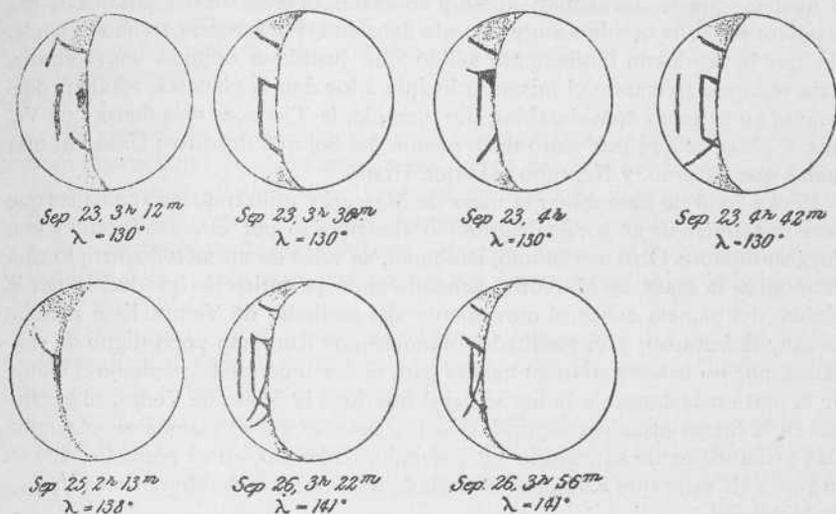


Fig. 63. — Aspecto de Mercurio según las observaciones de Lowell
 (Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia)

el otro la noche es eterna, y la temperatura, la del espacio, ó cerca de 300° bajo cero.

Los dibujos de Lowell, hechos en América (fig. 63), confirman las observaciones de Schiaparelli, y en ellos se ve la persistencia de las figuras geométricas, peculiares del planeta. Comprenden un período de tres días, del 23 al 26 de septiembre. La parte iluminada y visible es el segmento de la izquierda, y en él se distingue la banda nebulosa del círculo terminador y la parte más sombreada de los polos. Las líneas negras fuertes marcan los contornos más acusados de la superficie del planeta, que han servido para determinar su período de rotación.

Parece prudente, sin embargo, aguardar que nuevas observaciones vengán á comprobar la exactitud de estos recientes descubrimientos. Conociendo las dimensiones de las órbitas y el período de las revoluciones de los planetas y de sus satélites, puede calcularse la relación que existe entre sus masas y las del Sol; este método es aplicable á casi todos los planetas superiores; pero con Mercurio y Venus, que no tienen satélites, el problema es bastante más complica-

do. Los planetas no limitan su fuerza atractiva á los satélites, sino que obran también sobre los demás miembros de la familia solar; pero para esto es preciso que tengan grandes dimensiones, y que la distancia que medie entre ambos cuerpos ño sea demasiado considerable. Siendo Mercurio tan pequeño, su influjo sobre los demás planetas es muy débil; así que las perturbaciones que causa en los otros planetas apenas podemos apreciarlas, por caer dentro de los errores propios de la observación. Algunos astrónomos, fundándose en ciertas teorías cosmogónicas, que, después de todo, no son sino meras hipótesis, calcularon la masa de Mercurio suponiendo que la densidad de los planetas crece á medida que se aproximan al sol y en razón inversa de sus distancias. Por este motivo se ha creído siempre que la densidad de Mercurio era muy grande, sin que haya ningún fundamento sólido que justifique opinión tan arbitraria, toda vez que, aplicando el mismo principio á los demás planetas, resultan diferencias en extremo considerables; por ejemplo, la Tierra es más densa que Venus, á pesar de que este astro dista menos del Sol que nosotros; Urano es más denso que Saturno, y Neptuno más que Urano.

Encke trató de determinar la masa de Mercurio, utilizando las anomalías que hace experimentar al cometa periódico descubierto por este astrónomo y que lleva su nombre. Otro astrónomo, Rothman, se valió de un método distinto para determinar la masa de Mercurio, fundado en la perturbación producida por la acción del planeta sobre el movimiento del perihelio de Venus. Este método es muy defectuoso, y el resultado obtenido por Rothman poco digno de confianza, por no haber tenido en cuenta para el movimiento del perihelio el influjo de la parte más densa de la luz zodiacal interior á la órbita de Venus, ni el cambio en la fuerza atractiva central, que proviene de que el planeta se encuentra más profundamente sumergido en la nebulosidad solar, en su perihelio, que en su afelio. El valor que Rothman ha hallado para la masa de Mercurio es $\frac{1}{3,82845}$ de la del Sol.

Le Verrier, por cálculos análogos á los anteriores, estima la masa de Mercurio en $\frac{1}{83,1000}$ de la del Sol, ó sea 16 veces menor que la de la Tierra; pero repetimos, que estos números no son dignos de gran confianza.

Como la fuerza de gravedad es proporcional á la masa, y obra en razón inversa al cuadrado de la distancia que hay al centro de un planeta, en la superficie de Mercurio viene á ser este elemento la mitad próximamente que en la Tierra; ya sabemos cuán grande es su influjo sobre la organización de los seres, y que, según que esta intensidad es mayor ó menor, los movimientos musculares, por ejemplo, son más ó menos fáciles y exigen un gasto de fuerza más ó menos considerable. En el Sol, un habitante de la Tierra apenas podría moverse, y si egase á caer al suelo, le sería imposible levantarse; en Mercurio, el mismo habitante ejecutaría todos sus movimientos con un trabajo mucho menor que en nuestro globo, y con el mismo esfuerzo obtendría un resultado doble.

CAPITULO III

VENUS

Conocimientos de los antiguos sobre Venus. — Dimensiones y distancias de Venus. — Movimientos de Venus. — Descubrimiento de sus fases. — Visibilidad de Venus en pleno día. — Movimiento de rotación de Venus. — Montañas de Venus. — Satélite de Venus. — Paso de Venus por el disco del Sol.

El planeta Venus es conocido desde la más remota antigüedad; su brillo extraordinario hubo de atraer las miradas de los pastores astrónomos, que en las dilatadas llanuras de la Caldea consagraban la noche al estudio de las maravillas celestes. Es Venus, en efecto, después de los dos grandes luminares del día y de la noche, el astro más resplandeciente del cielo, y el único que puede distinguirse á la simple vista, estando el Sol á gran altura sobre el horizonte, es decir, al mediodía.

¿Quién puede haber dejado de observar á la puesta del Sol esa hermosa estrella que aparece hacia el Occidente? ¿Y quién no conoce el astro radiante que precede al Sol, el lucero del alba?

Venus, como Mercurio, oscila á ambos lados del Sol, y unas veces es estrella de la tarde, y de la mañana otras. Por esta causa recibió este planeta dos nombres distintos, según que era considerado como estrella matutina ó vespertina.

Creen algunos que el profeta Isaías se refiere al planeta Venus en el capítulo XIV, versículo 12, cuando dice: *Quomodo cecidiste de celo, lucifer, qui mane oriebaris?* (¿Cómo caíste del cielo, oh Lucifer, que nacías por la mañana?)

Los griegos daban á Venus el nombre de Vesper, cuando era visible por la tarde, y de Lucifer al preceder á la salida del Sol, ó el de Juno é Isis respectivamente. Homero, en su *Iliada*, dice en el libro XXII:

«Como luce la estrella vespertina
en intempesta noche entre los astros,
siendo del alto cielo *la más bella...*»

Homero escribe *Callistos*, que quiere decir la bella ó hermosa; el único planeta de que habla este grande hombre. Los indios la llamaban *Sukra*, que significa deslumbradora, y también *Daitya-guro*, voz compuesta de *guru*, soberano, y de *daitya*, titanes, es decir, reina de los titanes. Los babilonios la conocían con el nombre de *Anadid*, el cual hallamos ligeramente desfigurado en el libro I de los Macabeos.

Los persas la llamaban *Nahid* y los árabes *el Zohra*, que viene del hebreo Zohar, esto es, esplendor del cielo. Los pueblos orientales, los sabeos entre

otros, la llaman en términos generales, espíritu, calor, luminosa. Con el nombre de Venus designaron los caldeos, hace más de cuatro mil años, uno de los días de la semana, *Veneris dies*, que corresponde al viernes.

Hasta nosotros han llegado las denominaciones de estrella de la tarde y de lucero de la mañana ó lucero del alba, con que los antiguos pastores y poetas designaban el astro más brillante del cielo.

Sabemos que los antiguos consideraban los planetas como satélites de la Tierra, creyendo que ésta ocupaba el centro del mundo; los egipcios, sin embargo, descubrieron que Mercurio y Venus giraban alrededor del Sol. Pitágoras, por su parte, según se deduce de los autores, fué el primero en sospechar que Vesper y Lucifer, ó Juno é Isis, eran un solo y único cuerpo, conocimiento que había adquirido en las naciones de Oriente.

En la Asiria se verificaron las primeras observaciones del planeta Venus, que han llegado hasta nosotros; en las tabletas de barro cocido, en que con caracteres cuneiformes grababa sus anales aquel antiquísimo pueblo, se encuentra una observación de Venus hecha en el año 685 antes de la era vulgar; estas tablas de barro, que formaban las inmensas bibliotecas de aquella nación maravillosa, han sido halladas en las excavaciones de Babilonia por dos sabios ingleses, Mr. Layard y Mr. Smith, y se encuentran ahora en el Museo Británico de Londres. Una de ellas dice así, según la traducción de un distinguido orientalista: «En el mes de Thamuz dejó Venus de ser visible al Oeste, permaneciendo el planeta sin ser visto durante siete días, y el 2 del mes Ab apareció por el Oriente. El 26 del mes Ellul desapareció Venus por el Occidente, permaneciendo invisible durante once días, y el 7 del segundo Ellul volvió á verse hacia el Este.»

En el *Almagesto* de Ptolemeo se registran varias observaciones hechas por él mismo y por astrónomos egipcios de época anterior; la más antigua se remonta al año 476 de la era de Nabonasar y décimotercero del reinado de Ptolemeo Filadelfo, en la noche del 17 del mes egipcio Menori, fecha que corresponde al 12 de octubre del año 271 antes de Jesucristo; Timocaris vió la ocultación de una estrella situada en la extremidad del ala de la Virgen, producida por el planeta Venus. Esta observación no es de gran confianza, pues no conociéndose en aquella apartada edad el uso de los anteojos, pudiera ser una simple aproximación lo que Timocaris juzgó desaparición.

El símbolo de Venus ♀, que nos han transmitido los antiguos, representa, según pretenden algunos eruditos, un espejo con su mango, atributo de la belleza, ó al menos de la coquetería.

Venus es el segundo de los planetas conocidos, que hemos llamado interiores, por circular alrededor del Sol en una órbita más pequeña que la de la Tierra; presenta, pues, gran semejanza con Mercurio, en cuanto á sus movimientos y posiciones en el cielo, diferenciándose, por lo demás, en lo relativo á su constitución física.

Las dimensiones de Venus son casi iguales á las de la Tierra, y por largo tiempo han estado divididos los astrónomos, creyendo unos que nuestro globo era mayor, y otros, que más pequeño que el de Venus; las últimas medidas parecen demostrar, sin embargo, que el diámetro real de Venus es algo más peque-

ño que el de la Tierra. En el Observatorio de Greenwich, desde hace largo tiempo, se vienen haciendo observaciones muy delicadas sobre este punto de la astronomía, y Stone, que las ha discutido cuidadosamente, obtuvo como valor del diámetro de Venus $16''.944$, con un error probable de $\pm 0''.08$. Durante el penúltimo paso de Venus, ocurrido en 1874, el coronel Tennant, que lo observó, obtuvo como promedio de 68 medidas reducidas, $16''.9036$ con un error probable de $\pm 0''.0016$. Los resultados del último paso de 1882, en parte publicados, indican un valor algo superior: $17''.55$. El diámetro real tiene unas 3.182 leguas por su parte ecuatorial, y algo menos de polo á polo; pues, como la Tierra, presenta Venus un ligero aplanamiento; si damos al diámetro terrestre un

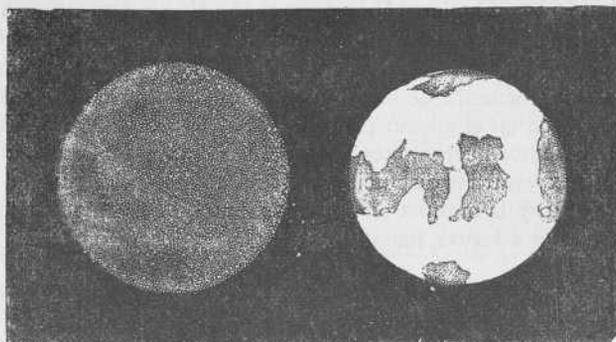


Fig. 64. - Venus y la Tierra

valor de 1, el de Venus viene á ser como 0,999 del de nuestro planeta, su superficie como 0,960 y su volumen como 0,975, dimensiones que difieren bien poco de las del globo que habitamos (fig. 64). Recientemente, sin embargo, el profesor See, del Observatorio de Wáshington, ideó unos modificadores líquidos, que se colocan delante del ocular del antejo ó telescopio, con los cuales se consigue eliminar por completo el halo azulado que se forma alrededor de la imagen de los planetas; valiéndose de líquidos de color adecuado, pudo Mr. See determinar el diámetro de Venus con un error de 16 kilómetros solamente; este diámetro es inferior al indicado antes, pues no mide más que 3,038 leguas.

La curva que Venus describe alrededor del Sol es casi circular, lo que equivale á decir que la excentricidad de su órbita es muy pequeña; es, en efecto, la más circular de las curvas planetarias, de manera que el Sol, aunque ocupa precisamente uno de los focos de la elipse, se halla situado á muy corta distancia del centro de la curva; por esta razón, Venus, en su afelio y en su perihelio, dista del Sol casi lo mismo; si tomamos como unidad la distancia media del Sol á la Tierra, tendremos como distancias extremas de Venus al Sol las siguientes:

| | |
|---------------------------------|---------|
| Distancia en el afelio. | 0.72828 |
| » media. | 0.72333 |
| » en el perihelio. | 0.71838 |

Como puede verse fácilmente, la diferencia entre la distancia máxima y la

mínima no llega á $\frac{1}{78}$ de la distancia media; reduciendo estos elementos á leguas kilométricas, obtenemos como distancias de Venus expresadas en medidas itinerarias:

| | | |
|---------------------------------|------------|--------|
| Distancia en el afelio. | 27.000.000 | leguas |
| » media. | 26.750.000 | » |
| » en el perihelio. | 26.570.000 | » |

No debe olvidarse que estos elementos se refieren únicamente á las distancias del planeta al Sol, las que son casi invariables, y de ningún modo confundirse con las distancias de Venus á la Tierra, pues éstas varían en grandísimas proporciones. En efecto, al hallarse Venus en conjunción inferior (fig. 65), su distancia á la Tierra es muchísimo menor que al ocupar el planeta una situación opuesta, ó sea al hallarse en conjunción superior; entre ambas distancias, la diferencia es igual al diámetro de la órbita de Venus, suponiéndola perfectamente circular, y situada en el mismo plano que la eclíptica ú órbita terrestre. Tomaremos, como hemos hecho antes, por unidad, la distancia media de la Tierra al Sol, para expresar las distancias que nos separan de Venus; en este caso, la máxima es 1.740 y la mínima 0.260, expresadas en la unidad dicha, y traduciendo estos valores á leguas, tenemos:

| | |
|---------------------------|------------|
| Distancia máxima. | 64.200.000 |
| » mínima. | 10.000.000 |

La diferencia, como se ve, es enorme, y en las páginas siguientes podremos apreciar mejor, cuando hablemos del aspecto y fases de Venus, la importancia de estas variaciones en la iluminación y tamaño aparente del planeta.

Siendo Venus, como Mercurio, un planeta inferior, es decir, un cuerpo que circula entre el Sol y la Tierra, ofrecen ambos astros grandísima semejanza en su aspecto y movimientos. Como aquél, vemos á Venus, ya á la derecha del Sol, ya á su izquierda, y también cruzando por su disco; pero debido á su mayor tamaño y á que su órbita es mucho más grande que la de Mercurio, llegando sus elongaciones, ó distancias angulares al Sol, á las que también se da el nombre de digresiones, á alcanzar un valor considerable de hasta 48°, se le distingue con mucha más facilidad y durante más tiempo que Mercurio.

Este permanece casi siempre, como hemos dicho, envuelto en los resplandores solares, y sólo es visible, con dificultad, en sus elongaciones máximas; pero Venus brilla en estos casos de un modo extraordinario, y aun en ocasiones se le distingue en su posición más desfavorable, cuando pasa entre el Sol y nosotros, ó por detrás de este astro, es decir, en sus conjunciones; para que en estos casos sea visible el planeta, es preciso, sin embargo, que pase á bastante distancia del Sol, bien por encima ó por debajo.

El movimiento aparente de Venus en la celeste bóveda es muy semejante al de Mercurio, y se explica de la propia manera, por lo que no se hace necesario que agreguemos nada más sobre un asunto que ya conocemos.

El intervalo de una oscilación completa de Venus, con relación al Sol, ó en otros términos, el tiempo que emplea el planeta, visto desde la Tierra, en volver

á la misma posición respecto del astro central, es de 584 días, ó sea 1 año y 3 meses y 29 días; también se llama á este período, revolución sinódica, y oscila entre 577 y 592 días; estos son los números extremos que pueden transcurrir entre dos conjunciones sucesivas, superiores ó inferiores. Durante 542 días, de los 584 que comprende el período de la revolución sinódica, recorre el planeta la parte de su órbita que, en la apariencia, sigue el mismo movimiento que el Sol, ó sea el directo, y durante los 42 restantes camina por la región de la órbita más próxima á la Tierra, apareciendo, en este caso, con movimiento retrógrado. Ya dijimos al hablar de los movimientos de Mercurio, que tanto el directo cuanto el retrógrado eran sólo aparentes, y que en realidad el astro ni se aproxima ni se aleja del Sol; pero usando el lenguaje de las apariencias, seguiremos diciendo que, si observamos á Venus por la tarde, cuando parece acercarse al lumínar del día, su movimiento respecto de las estrellas será de Oriente á Occidente; y por la mañana, su movimiento será retrógrado, cuando la veamos alejarse de los destellos crepusculares. En estas diversas circunstancias, ora aparezca el planeta sobre la eclíptica, ya bajo ella, pero siempre en sus inmediaciones, va recorriendo todas las constelaciones zodiacales, y da la vuelta completa del cielo en un año, poco más ó menos.

Como el brillo de Venus es tan intenso, puede distinguirse el planeta á corta distancia del Sol, si este astro

está debajo del horizonte; en estas condiciones basta, para que sea visible, que salga ó se ponga con una diferencia de 40 minutos antes ó después que el Sol, y casos hay, aunque rarísimos, en que Venus es, al mismo tiempo, estrella matutina y vespertina. Esto ocurrió el 14 de febrero de 1894, en que el orto de Venus precedía al del Sol en 43 minutos y su ocaso lo seguía con los mismos 43 minutos de retraso. El fenómeno fué observado por muchas personas, y se reproduce, en condiciones muy semejantes, cada ocho años.

Los elementos de la órbita de Venus se han deducido de un gran número de observaciones efectuadas con buenos instrumentos en los principales observatorios de Europa y América, y se apoyan en las leyes de Klepero. De estos elementos, bien calculados y discutidos, se deduce que la revolución sidérea del planeta es próximamente de 225 días en números redondos, y con toda exactitud, de 224 días, 16 horas, 49 minutos y 8 segundos, ó sean 7 meses de 30 días y la fracción anterior; este es el tiempo que tarda el planeta en dar una vuelta

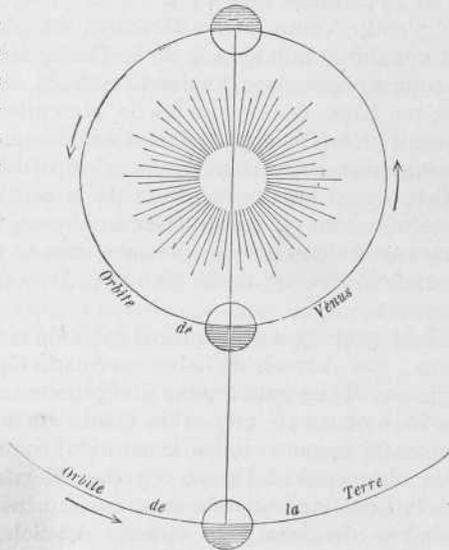


Fig. 65. — Distancias máxima y mínima de Venus á la Tierra

completa alrededor del Sol, lo que equivale á decir que este es el valor del año de Venus. De los datos que hasta aquí llevamos presentados, podemos deducir, sin gran trabajo, que la órbita de Venus ofrece un desarrollo total de 168 millones de leguas, y que la velocidad media del planeta es de unas 750.000 leguas diarias, ó sean casi nueve leguas por segundo. Recordaremos que la velocidad de Mercurio era superior, pues recorre en un segundo casi 21 leguas, y más adelante veremos que, á medida que los planetas se alejan del Sol, disminuye su velocidad de traslación. La órbita de Venus forma con la eclíptica un ángulo de $3^{\circ} 23' 29''$, siendo la longitud de su nodo de $74^{\circ} 51' 41''$ y la de su perihelio $128^{\circ} 43' 6''$.

Siendo Venus, como Mercurio, un planeta que circula alrededor del Sol en una órbita inferior á la de la Tierra, debe volver hacia nosotros, alternativamente, su hemisferio iluminado en unos casos y en otros el obscuro, presentando, por tanto, fases como las de Mercurio. A la simple vista no pueden percibirse, por ser muy pequeño el ángulo que subtiende el disco del planeta, al encontrarse en estas posiciones; los partidarios del sistema de Ptolomeo invocaban, como prueba en contra de la verdad del sistema de Copérnico, que jamás se habían observado fases en Venus; esta objeción era fundadísima, y el sabio astrónomo polaco apreciaba toda su fuerza, contentándose con responder que algún día, sin duda, permitiría Dios que se observasen, para triunfo de su doctrina.

Esta profecía se cumplió al cabo de cierto tiempo; siendo extraño, sin embargo, que después de haber inventado Galileo el antejo, tardase tanto en dirigirlo á Venus, para buscar si el planeta tenía fases ó no. A fines de septiembre de 1610 concluyó este sabio ilustre un nuevo antejo más poderoso que los que hasta entonces había construido; comenzó con su auxilio á explorar el cielo, y observando á Venus, con gran alegría descubrió que presentaba fases como la Luna, apareciendo en su instrumento como una media luna cuya concavidad se dirigía al lado opuesto del Sol. Al hablar del descubrimiento de las manchas solares, referimos las disputas que sobre la prioridad de la observación sostuvieron varios astrónomos; y aleccionado Galileo por la experiencia adquirida, quiso tomarse tiempo para asegurarse de la exactitud de su descubrimiento, y anunciarlo, sin embargo, de un modo tal, que nadie sino él pudiera comprender el sentido oculto del anuncio.

Esto lo verificó escribiendo á Keplero una carta en la que se leía el siguiente anagrama:

Hec immatura à me jam frustra leguntur, o y;

frase obscura que puede traducirse así:

Estas cosas, sin madurar, las leo en vano todavía.

En esta traducción se supone que es el lector el que habla ó interpreta la sentencia, mas en esta otra versión parece que el intérprete es el mismo Galileo:

«Estas cosas sin madurar, que intentan comprender los demás inútilmente, hace tiempo que yo las leo.»

Colocando en otro orden las treinta y cuatro letras anteriores, resulta, con toda exactitud, la frase siguiente, que encierra el descubrimiento de Galileo:

Cynthia figuras emulatur mater amorum.

La madre de los amores imita las fases de Diana.

Nuestros lectores saben que la madre de los amores es Venus, y que á la Luna, entre otros nombres, se le da también el de Diana.

Las dos sentencias anteriores contienen: cinco A, una C, dos E, una F, una G, una H, una I, una J, una L, cuatro M, una N, una O, cuatro R, una S, tres T, cuatro V, una Y, y una Æ.

Mientras Galileo se ocupaba en adquirir la certidumbre de su descubrimiento, recibió una carta del P. Castelli, fechada en Brescia el 5 de noviembre de 1610, en la cual le preguntaba si Venus y Marte no presentaban fases. El ilustre florentino, que deseaba estudiar en secreto el fenómeno, contestó de un modo evasivo, diciendo que «en este asunto había muchas investigaciones que hacer todavía; pero que en atención al mal estado de su salud, prefería quedarse en la cama, á pasar las noches al raso.» Poco tiempo después, sin embargo, el 30 de diciembre de 1610, anunció Galileo á Castelli que había reconocido las fases de Venus.

Ya sabemos que Venus puede ser estrella de la tarde ó lucero de la mañana, según que se encuentre al Oriente ó al Occidente del Sol; si nos valemos de un antejo astronómico, mediano en cuanto á su aumento ó amplificación, pero inmejorable en lo relativo á sus condiciones ópticas, y durante el crepúsculo vespertino lo dirigimos al planeta, cuando la distancia que lo separe del astro central sea muy pequeña, se nos presentará como un disco iluminado casi circular; en los días siguientes, y á medida que el planeta se vaya apartando del Sol y aumentando la distancia angular que lo separa de este astro, irá perdiendo su figura circular; la parte oriental se estrechará, y el planeta tomará el aspecto que los ingleses llaman *giboso ó dicótomo*; en este intervalo, su diámetro aparente será mayor que el que presentaba al principio de las observaciones. Algunos días después, alcanzará su digresión máxima oriental, presentándose entonces como la Luna en su cuarto creciente, esto es, como un semicírculo perfecto iluminado, cuya convexidad se dirige hacia el Oeste, por más que en el antejo parezca lo contrario, debido á que invierte las imágenes. Desde este momento empieza el planeta á acercarse de nuevo al Sol; su diámetro aumenta de un modo considerable, disminuyendo la anchura de la parte iluminada, que se nos presenta, al cabo, como una hermosa y delgadísima hoz de plata, hasta que desaparece el planeta envuelto en los rayos solares. Permanece invisible durante algún tiempo, y volvemos á distinguirlo por la mañana al Oeste del Sol, con el mismo aspecto que tenía cuando desapareció, es decir, como una hoz delgadísima, cuya convexidad se dirige hacia el Este, al contrario de lo que ocurría cuando el planeta se encontraba al otro lado del Sol. La marcha que ahora si-

que es inversa de la anterior; pues su tamaño aparente disminuye, y aumenta la porción iluminada, á medida que el cuerpo se separa del Sol.

Estos aspectos tan extraños, son, sin embargo, muy fáciles de explicar, y dependen del movimiento del planeta alrededor del Sol; sólo tenemos que repetir aquí lo que dijimos al hablar de las fases de Mercurio. Hemos supuesto que nuestra observación comenzó por la tarde, cuando el planeta se encontraba muy próximo al Sol en la apariencia, pero más allá que este astro, ó sea casi en su conjunción superior; en la figura 66 se representa al Sol en el centro, alrede-

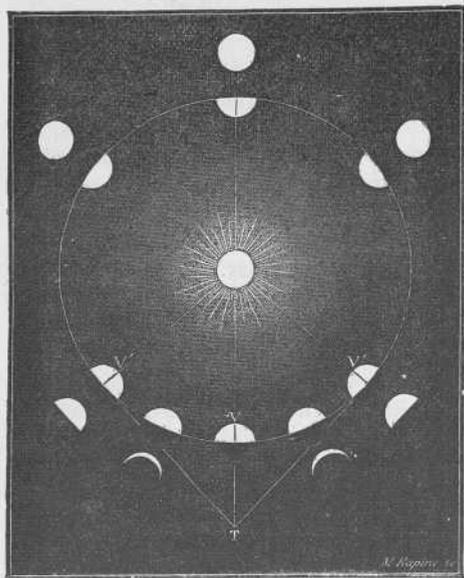


Fig. 66. — Explicación de las fases de Venus

edor Venus en distintos puntos de su órbita, y en la parte inferior del grabado, la letra T marca el lugar de la Tierra, que en este caso suponemos inmóvil. Hemos dicho que la observación comenzó cuando el planeta se desprendió de los rayos solares, de suerte que entonces pasaba de su conjunción superior á su digresión oriental; é inspeccionando la figura, vemos que el planeta se acercaba á la Tierra, y que su disco había de aumentar de tamaño por esta razón, disminuyendo al propio tiempo la zona iluminada por los rayos solares; continuando el planeta su movimiento, al encontrarse en V', ó máxima digresión oriental, su disco se halla iluminado por mitad entre V y V' nos presenta sólo una delgadísima hoz y en su conjunción inferior V es invisible, porque la parte iluminada se dirige hacia

el lado opuesto de la Tierra; pasa el planeta entre ésta y el Sol, y á los pocos días, como lucero del alba, ofrece entre V y V'' otra vez el aspecto de una falce, y más tarde, en su máxima digresión occidental en V'' observamos de nuevo su disco medio iluminado; desde este instante va aumentando el valor de la fase brillante, llega á hacerse *dicótomo*, y por último, en la conjunción superior, todo el disco de Venus que recibe los rayos del Sol está vuelto hacia la Tierra.

En estas distintas posiciones ha variado de un modo considerable la distancia del planeta á la Tierra, y también la porción iluminada de su disco, según se ve desde nuestro globo; al hallarse en conjunción superior, se nos presenta el disco completamente iluminado, pero de un valor angular muy pequeño, por estar Venus á la mayor distancia de la Tierra (fig. 67); en este caso su diámetro angular es de $9''5$. A su distancia media se duplica este valor, y su disco se presenta iluminado por mitad. En su conjunción inferior, á su menor distancia de nuestro globo, su diámetro aumenta de un modo considerable, como se ve en

la figura, alcanzando un valor de $17''$, y la parte iluminada se estrecha muchísimo, y tanto, que la mayor parte de las veces desaparece por completo, lo cual se comprende fácilmente, puesto que en este caso pasa entre nosotros y el Sol, y vuelve á este astro el hemisferio iluminado. Sin embargo, en esta última situación es visible en ocasiones, como una hoz estrechísima; pero para esto es preciso que su latitud boreal ó austral, ó sea su elevación sobre el Sol, ó su distancia por debajo de este astro, sea muy grande. Como la órbita de Venus es mayor que la de Mercurio, es también más considerable la amplitud de sus oscilaciones periódicas á uno y otro lado del Sol, á las cuales hemos dado el nombre de digresiones ó elongaciones. Su duración es mayor asimismo. Por estos

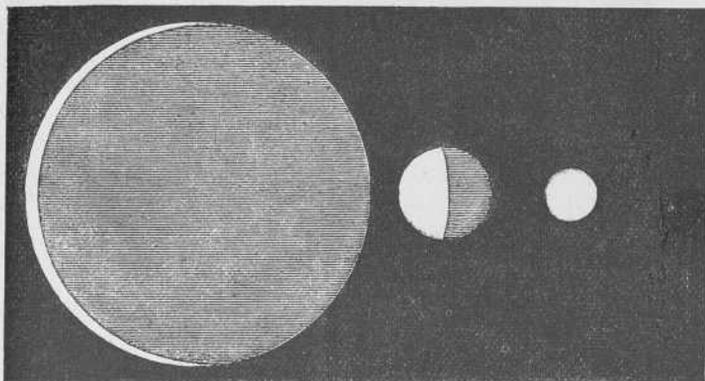


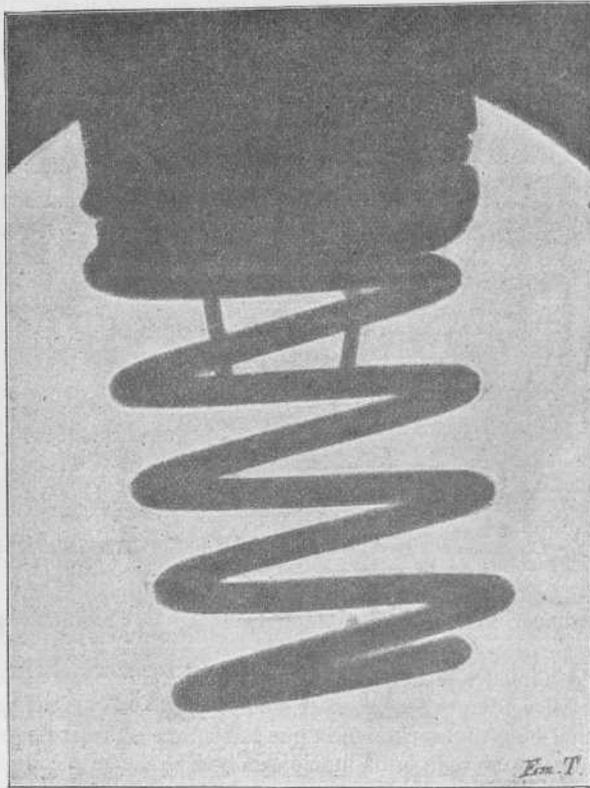
Fig. 67. — Dimensiones aparentes de Venus y porción iluminada de su disco á sus distancias máxima, media y mínima

motivos, y sin hacer mérito de su superior brillo, es Venus mucho más visible que Mercurio.

El brillo de Venus es tan grande, que en circunstancias favorables hace proyectar sombra á los cuerpos; estos experimentos claro es que hay que efectuarlos por la noche; Herschel recomienda que la sombra se reciba sobre un papel blanco y que las paredes de la habitación en que se lleven á cabo las observaciones estén también blanqueadas; los rayos de Venus entran por una ventana convenientemente orientada, y con estas precauciones, no sólo se percibe una sombra bastante negra, sino también las bandas de difracción en los contornos. Flammarion refiere que una noche cruzaba las calles de un pueblo de Italia, cuando observó que tres sombras seguían á lo largo de la tapia de un jardín el mismo camino que él y sus dos compañeros; llamóle la atención el fenómeno, pues no había Luna, y el pueblo estaba á obscuras; sus compañeros distinguieron la sombra con toda facilidad. La noche estaba despejada y brillaban infinitas estrellas; pero todos sus fuegos reunidos no podían compararse con la hermosa luz de Venus que se destacaba como un astro de primera magnitud, produciendo el fenómeno que, tan sin pensar, observó el popular astrónomo francés; la pared, siguiendo éste, era de un color blanco sucio y casi gris; si hubiera sido completamente blanca, el fenómeno hubiera ofrecido un aspecto mucho más pronun-

ciado; en Niza, algunos días después, repitió Flammarión el experimento, recibiendo sobre un papel la sombra de los dedos, de un lápiz ó de cualquier objeto.

Posteriormente, en enero de 1878, pudo observarse en Cádiz el mismo fenómeno en condiciones verdaderamente excepcionales; á la luz de Venus se dis-



*Fig. 68. — Fotografía obtenida á la luz de Venus
(Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia.)*

tinguieron los caracteres de la portada de un libro, caracteres que medirían menos de dos centímetros de altura.

En enero de 1898 obtuvo el Sr. Fouchet la curiosa fotografía que representa la figura 68, valiéndose de un antejo astronómico ordinario, al que adaptó una cámara, sin objetivo, cuyo lugar ocupaba el soporte de una lamparita eléctrica de incandescencia. Dirigió el antejo, así dispuesto, á Venus, descubrió la placa y dió una exposición de quince minutos. La impresión resultó algo débil por defecto de la placa, y hubo necesidad de reforzarla; pero de todos modos se veía

perfectamente la imagen del alambre en espiral del soporte, como muestra el fotograbado, debida exclusivamente á la acción de la luz de Venus.

Este planeta es, como hemos indicado, visible á veces en mitad del día, sin auxilio de ningún instrumento óptico; este fenómeno es conocido desde muy antiguo, y Varrón cuenta que, cuando Eneas pasó de Troya á Italia, distinguía durante todo el viaje el planeta, á pesar de encontrarse el Sol sobre el horizonte; registran las crónicas que en los años 398, 984, 1008, 1014, 1077, 1280, 1363, 1716, 1750, 1794, y otros, fué Venus visible en pleno día. El vulgo suele relacionar estas apariciones con los sucesos políticos contemporáneos, ó con las epidemias, temblores de tierra y otros accidentes naturales. En 1716 los habitantes de Londres distinguieron á Venus en medio del día, considerando este fenómeno como un verdadero prodigio. Esta circunstancia dió motivo á que Halley se ocupase del cálculo de la fase de mayor visibilidad de Venus, el cual presentaremos más adelante. Refiere Lalande que, en 1750, el público de París observó con gran admiración el planeta en pleno día, tomándolo por una estrella nueva.

Arago cuenta en su *Astronomía*, con referencia á Bouvard, que al dirigirse el general Bonaparte al Luxemburgo, donde iba á ser festejado por el directorio, le sorprendió que la multitud que invadía las calles prestase mayor atención al cielo que á su persona y al brillante estado mayor que lo acompañaba. Trató de inquirir la causa de este aparente desvío, y supo que los curiosos miraban

con asombro, por ser mediodía, una brillante estrella que lucía sobre el palacio, suponiendo que había de ser la que guiaba la gloriosa carrera del vencedor de Italia, á cuya alusión no fué insensible el general, después que hubo distinguido con su mirada de águila el reluciente astro.

En 1857 y 1868 también pudo observarse en pleno día el radiante planeta, y durante la primavera de 1876, desde el mes de marzo hasta el de junio, se vió á la simple vista con gran facilidad: fenómeno que se ha repetido muchas veces desde esa fecha, pues con el desarrollo de la instrucción son en la actualidad muchas las personas que prestan atención á las afecciones astronómicas, y en las revistas científicas se registran á cada instante interesantes observaciones, que todas contribuyen al progreso de la ciencia.

Veamos ahora en qué condiciones ha de encontrarse el planeta respecto del Sol y de la Tierra, para que sea visible á la simple vista, á pesar del esplendor extraordinario del lumínar del día.

Si Venus fuese un cuerpo dotado de luz propia, parecería más brillante cuando se encontrase á su distancia mínima de la Tierra, esto es, en su perigeo; pero como sabemos ya, es un astro opaco, que no tiene más luz que la que re-

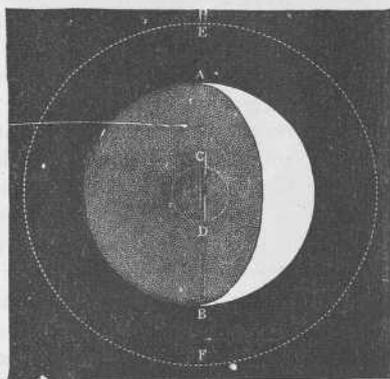


Fig. 69. - Fase de la mayor visibilidad de Venus

cibe del Sol, presentando fases semejantes á las de la Luna; en su conjunción superior, vuelve hacia la Tierra todo su hemisferio iluminado, y esta debiera ser su fase de mayor brillo; pero como en semejante situación se halla casi en una misma línea con el Sol, los rayos poderosos de éste nos impiden distinguir la luz del planeta; en sus máximas digresiones al Este y al Oeste del Sol, pudiéramos creer que habrían de ocurrir sus fases más brillantes; pero tampoco es así, pues no es en estos casos cuando el diámetro aparente del planeta adquiere su valor máximo, siendo este, por otra parte, un elemento que hay también que tener en cuenta.

Las circunstancias más favorables para la visibilidad de Venus dependen, pues, del valor de sus fases, de las variaciones de su diámetro aparente, de su elongación y, por último, de la pureza de nuestra atmósfera.

Halley resolvió este problema teniendo en cuenta, únicamente, las condiciones que, por depender de causas físicas, pueden sujetarse al cálculo, enunciándolo de la siguiente manera: hallar la situación de Venus, respecto de la Tierra, en que la cantidad de luz que nos envíe sea la mayor posible. El cálculo, conforme con la observación, demuestra que la mayor visibilidad de Venus, á la simple vista, corresponde á los momentos en que dista del Sol 40° , al Oriente ó al Occidente, 36 días antes ó después de su conjunción inferior; su diámetro aparente mide en este caso $40''$ y la anchura de la parte iluminada viene á ser de unos $10''$ ó algo menos, es decir, la cuarta parte del disco; en el anteojo aparece entonces como la Luna á los cinco días después del novilunio. Lambert, Bremiker y otros, también se ocuparon del asunto, y recientemente el Sr. Müller, desde 1877 á 1890, efectuó una serie de estudios fotométricos, con objeto de resolver algunas diferencias que resultaban entre el cálculo y la observación. La fórmula de Seeliger es la más exacta, y fija 40° para la elongación y 38 días para el período del brillo máximo. La figura 69 representa el planeta en este momento; A B son los cuernos del octante iluminado, y la línea que une estos dos puntos puede considerarse como el diámetro aparente del planeta á su distancia media de la Tierra; el círculo exterior E F representa el contorno del planeta á su mínima distancia de nosotros, ó sea cuando pasa entre la Tierra y el Sol; en la parte central de la figura se distingue un círculo pequeño C D, que indica la magnitud aparente del disco de Venus, cuando se encuentra á su distancia máxima de la Tierra. En la figura se supone que el Sol se encuentra al Oeste del planeta; pero no es en este solo caso cuando Venus adquiere su mayor brillo, sino también al encontrarse en una situación análoga, al Este, presentando entonces sus cuernos hacia Occidente. Estos fenómenos se reproducen al Oriente ó al Occidente del Sol, cada 29 meses, y los de máxima visibilidad posible cada 8 años, según los cálculos de Lalande; pues al cabo de este período, vuelve Venus á ocupar la misma situación respecto de la Tierra, con muy pequeña diferencia. Además de las condiciones expresadas, es necesario también que la declinación del planeta sea lo más boreal posible.

Dijimos, al hablar de Mercurio, que su observación era muy difícil por su gran proximidad al Sol, hallándose, por lo tanto, casi siempre envuelto en los rayos deslumbradores de este luminar; la observación de Venus, aunque por otras causas, no es mucho más fácil; su extraordinario brillo produce unas irra-

diaciones que desfiguran grandemente la imagen que se forma en el antejo; para remediar esta falta, es preferible observar durante la mañana ó la tarde, cuando el Sol se encuentre sobre el horizonte, aunque á corta altura, y aun así, es muy difícil la observación, por el trémulo movimiento del planeta.

Las primeras tentativas hechas para determinar el período de rotación de Venus y la posición de su eje, se deben á Juan Domingo Cassini, ó Cassini I, como se le llama con frecuencia. Llevó á cabo sus observaciones con un antejo largo de Campani, á mediados del siglo xvii, según se lee en el *Journal des Savants*, correspondiente al día 12 de diciembre de 1667; pero hasta el 14 de octubre del año anterior no llegó á distinguir ninguna mancha de aspecto bastante detallado, para el objeto particular de su estudio; da cuenta de ello, definiendo-

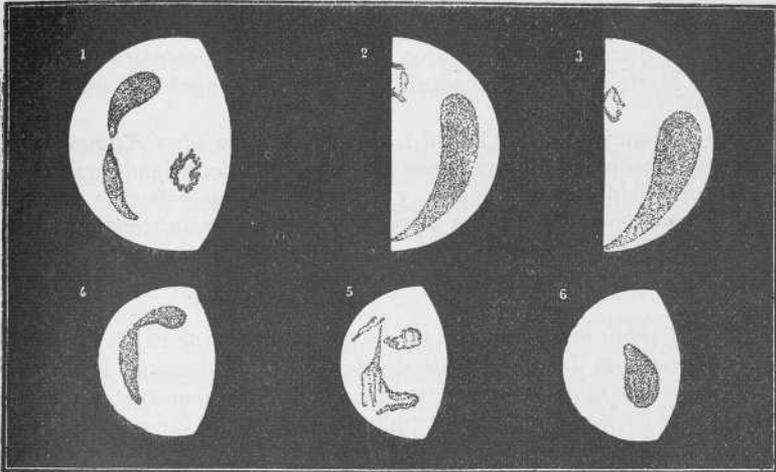


Fig. 70. - Manchas oscuras y brillantes del disco de Venus. (Dibujos de Cassini.)

la como una parte clara situada cerca de la sección, y muy distante del centro del planeta hacia la parte boreal; al mismo tiempo se distinguían varias manchas, oscuras. Continuó Cassini sus observaciones hasta el mes de junio de 1667, sin atreverse á formular su opinión sobre lo que pudieran ser las manchas, y en la figura 70 el n.º 1 representa el aspecto de Venus dibujado por Cassini cuando por primera vez las distinguió el 14 de octubre de 1666, á 5^h 45^m de la tarde; se perciben dos manchas oscuras, prolongadas y reunidas por sus extremos más delgados, y otra mancha más pequeña, brillante, no lejos del centro. Los números 2 y 3 se refieren á una observación efectuada el 28 de abril del año siguiente, de madrugada; el primero indica el aspecto del cuadrante un cuarto de hora antes de la salida del Sol, y el segundo el momento del orto. (Los dibujos 4, 5 y 6 se deben á Lowell, que los hizo en 1871, esto es, doscientos cuatro años después de los de Cassini, siendo muy semejantes en lo relativo al aspecto y forma de las manchas oscuras.)

La aparición y desaparición de las manchas creyó Cassini que podía deber-

se á un movimiento real del planeta, ó á un efecto de libración; véase, si no, la reserva con que se expresa al dar cuenta de su descubrimiento: «Decir ahora, suponiendo que se trate siempre de la misma parte brillante, si este movimiento se debe á la libración, es cosa que no me atrevería á asegurar todavía, porque no he podido ver la continuidad de este movimiento en una gran parte del arco, como en los demás planetas, por cuya razón será siempre muy difícil de determinar.»

En 1726, Bianchini, prelado doméstico del Papa, observaba en Roma, valiéndose de un anteojo de Campani también, de unos 80 palmos de distancia focal. El 9 de febrero distinguió varias manchas, cuya observación continuó por algún tiempo, con objeto de determinar el período de rotación, que supuso igual á 24^h 8^m, siendo de 15° la inclinación del eje sobre el plano de la eclíptica; este resultado se publicó en su obra *Hesperiet Phosphori nova Phenomena*. Las observaciones de Bianchini se verificaron en condiciones atmosféricas muy desfavorables, de suerte que no pudo seguir las fases de la mancha de un modo continuo.

Santiago Cassini, hijo de Cassini I, se ocupó en su obra *Elementos de Astronomía* en discutir las observaciones de Bianchini, deduciendo que el período de rotación debía ser de 23^h 20^m, y demostrando que esta cifra concordaba con las observaciones de su padre y con las del astrónomo romano; pues si se admitía la rotación imaginada por este último, sería necesario desechar las observaciones del primero de los Cassini, «que no serían sino falaces apariencias.»

Santiago Cassini refiere que, después que Bianchini le había dado cuenta de sus observaciones de Roma, trató de descubrir él mismo en París las manchas de Venus. Examinó el planeta en muchas ocasiones con un anteojo de 114 pies de distancia focal, construído por Hartroeker, y con otro de Campani, de 120 pies, ensayado por Bianchini, que lo calificaba de instrumento excelente; pero, á pesar de tomar las mayores precauciones, ni él, ni Maraldi, pudieron jamás distinguir mancha alguna.

Examinando Schroeter en 1789 el disco de Venus con un telescopio de siete pies, distinguió una mancha brillante en el hemisferio obscuro, y de su aspecto y figura, observados por varios días, dedujo que el planeta giraba en el espacio de 23^h 21^m 19^s, confirmando así el resultado obtenido por Santiago Cassini de las observaciones de su padre. Las de Schroeter aparecieron en sus *Fragments Cytereográficos*, publicados en Erfurt en 1792, y en su *Afroditografía*, que dió á luz en Helmstadt en 1796. En un apéndice á esta última obra, refiriéndose á las manchas atmosféricas y á la forma de los cuernos, da como valor final del período de Venus 23^h 21^m 7^s,98.

Las observaciones y trabajos del P. Vico sobre este mismo asunto se publicaron en las Memorias del Observatorio del Colegio Romano, allá por los años de 1840 y 1842. Estas observaciones se hicieron con un anteojo de Cauchoix, y el período de rotación que de ellas se deduce es de 23^h 21^m 21^s, 93 de tiempo sidéreo.

Guillermo Herschel se dedicó también á estas investigaciones delicadas, deseoso de determinar con exactitud el período de rotación de Venus, que creía

más corto de lo que aseguraba Bianchini; sus trabajos, sin embargo, sólo sirvieron para confirmar el movimiento de rotación del planeta, sin que se atreviese, dada la incertidumbre de las observaciones, á formular ninguna determinación exacta, ni de la duración del período, ni aun siquiera de la dirección de la línea de los polos. Creyó también que las manchas no estaban situadas en el cuerpo mismo del planeta, sino en su atmósfera.

De las observaciones de Vico y sus colegas se deduce que el período de rotación es de $23^{\text{h}} 21^{\text{m}} 24^{\text{s}}$, ó sea $34^{\text{m}} 40^{\text{s}}$ más corto que el de nuestro planeta; este es el día sidéreo; el solar es igual á $23^{\text{h}} 27^{\text{m}} 6^{\text{s}}$, ó sea $5^{\text{m}} 42^{\text{s}}$ más largo que el sidéreo, y que el año de Venus consta de 231 días ó rotaciones, equivalentes á 224 días terrestres; pero debemos advertir que en el año hay que contar un día solar menos.

A pesar de la concordancia que presentan las observaciones de Vico con las de Schroeter, en lo respectivo al período de rotación, hay que convenir en que se necesitan nuevas y más exactas observaciones para aceptar este período como definitivo.

Esta reflexión que estampábamos en la anterior edición de *El Telescopio* no era desacertada, pues en la actualidad se hallan los astrónomos sumamente perplejos, en cuanto á la determinación del movimiento de rotación de Venus.

En efecto; aunque con algunas reservas mentales, se aceptaba por todo el mundo el valor determinado por Schroeter, y así figuraba en los anuarios y efemérides, cuando inopinadamente, en 1890, el Sr. Schiaparelli hizo saber que Venus, como Mercurio, giraban sobre su eje en el mismo tiempo que daban la vuelta alrededor del Sol, ó de otro modo, que el período de rotación y el de revolución eran iguales. Empezó sus observaciones á fines de 1877 en Milán, con el anteojo de Merz, de 8 pulgadas, y ampliaciones de 210 y 322, y las continuó por espacio de doce años, habiendo en ese intervalo adquirido otro anteojo más poderoso, pero del que no se obtuvieron resultados extraordinarios. En el planeta se distinguían unas sombras vagas y confusas, semejantes á las descritas por otros astrónomos, pero inadecuadas para determinar el tiempo de rotación. El 8 de diciembre, según las palabras del notable astrónomo, se veía una mancha distinta, de forma triangular, situada en medio del semidisco visible, con un vértice dirigido hacia el Norte; al día siguiente, se ensanchó la mancha, que ocupaba casi toda la mitad superior de la fase (fig. 71, A en m). El cuerno austral presenta una mancha ovalada, blanca y clara *h*; á su lado se ve otra, *k*, ovalada también, pero menor y menos distinta; ambas están limitadas por elipses semejantes y orientadas de igual manera, y probablemente su forma, sobre la superficie del planeta, ha de diferir poco de la circular. La elipse de *k* es completa; una parte de la de *h* está dentro de la sombra que se extiende más allá del círculo terminador. La intensidad máxima de la sombra, *m h*, se halla cerca de las manchas *h k* y también en la dirección de la línea *h m*. En dos horas y media que duró la observación, no se advirtió ningún cambio. El 10 se nota en *y* una región, relativamente más clara. El 12 no se destaca la mancha *k* sobre el fondo, y se abre por la izquierda confundiendo con el resplandor del limbo en *k x*. El 14 se comprueba la modificación de la mancha *k* (véase la figura B). La mancha *h* queda reducida á una parte de óvalo; la sombra *h m* se debilita,

y entre las manchas *h* y *k* hay otra sombra *p* en forma de punta triangular, hallándose todo el limbo fuertemente iluminado, salvo en el punto *p*. El día 15 el mayor brillo se encuentra en *s*, y el 16 se nota una parte más clara en *a*. El 1.º y el 18 de diciembre se ve la mancha *h* con mayor claridad que nunca, y en el transcurso de nueve días no cambió de lugar; tres días después se reforzó la división *p* (fig. C), y la mancha *h* quedó dividida en dos partes por un filamento de sombra. En el resto del mes no se advirtió cambio alguno en el aspecto del planeta, salvo la mayor extensión de la zona luminosa, que ocupa en el limbo un arco de 35°. En los primeros días de enero de 1878 era visible todavía la mancha *h*, aunque había disminuído mucho, y las observaciones continuaron hasta el 7 de febrero, en que fué preciso suspenderlas, por lo reducido de la fase que presentaba el planeta.

El Sr. Perrotin, director del Observatorio de Niza, deseando comprobar los descubrimientos del Sr. Schiaparelli, se dedicó á observar el planeta Venus desde el mes de mayo hasta el de octubre del mismo año de 1890, consiguiendo en este intervalo obtener setenta y cuatro días de observaciones excelentes, en los que pudo ejecutar sesenta y un dibujos. De su estudio detenido dedujo el Sr. Perrotin que el aspecto del planeta no varía de un día á otro, ni en las diversas horas de un mismo día, pues las ligeras modificaciones que se notan se deben á las variaciones de iluminación y absorción de la atmósfera terrestre, y á la altura del astro sobre el horizonte, por lo cual cree que el movimiento de rotación es muy lento, y no difiere apenas del de revolución sidérea sino en treinta días, en más ó en menos. Schiaparelli indicó como probable un período de 225 días, con error de algunas semanas, y Perrotin cree que pudiera ser también de 195 días. Sin embargo, son tan delicadas estas observaciones, que el mismo Schiaparelli considera posible que la rotación se efectuase en seis y aun en nueve meses. En lo que ambos astrónomos están de acuerdo, es en fijar el valor del ángulo que forma el eje de movimiento con la eclíptica, que estiman de 90°, con un error que no pasa de 15°.

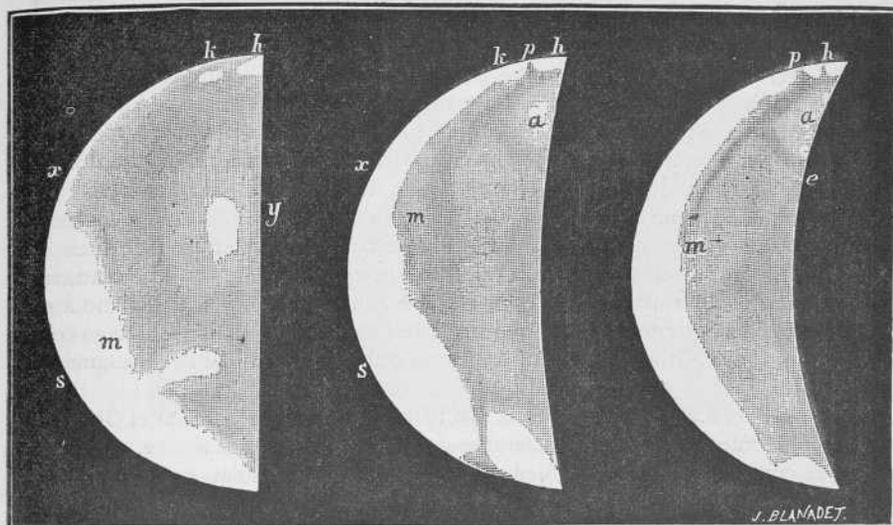
En el Observatorio de Juvisy de 1887 á 1894 se consagró asimismo el Sr. Flammarión al estudio de este problema, fijándose principalmente en los casquetes blancos de las regiones polares, que considera formados de nieves ó nubes, si bien no se atreve á afirmar rotundamente su existencia, que sería inexplicable, en el supuesto de que el planeta no girase con bastante rapidez sobre su eje, pues en el caso de que los dos períodos de rotación y revolución fuesen iguales, el astro presentaría siempre el mismo hemisferio al Sol, y todo su contorno, tanto en los polos, cuanto en el ecuador, á causa de la verticalidad del eje, tendrían igual temperatura. El famoso astrónomo se inclina á creer que Venus gira sobre su eje en un período de tiempo de 24 horas, con poca diferencia.

Otros observadores son también partidarios del período diurno, y sobre este punto se expresan del modo más decisivo y categórico, afirmando que han visto pasar muchas manchas en diversos días, y llegar con precisión al meridiano central del planeta.

Y no faltan tampoco espíritus prudentes que sostienen que de la superficie de Venus no vemos nada, por impedirlo la densidad de su atmósfera, y que las pretendidas manchas, de observación tan difícil, no son más que diversos efec-

tos de iluminación, dependientes de las posiciones relativas del Sol, la Tierra y Venus.

El volumen de este planeta es igual á $\frac{1}{7}$ del terrestre y su superficie á $\frac{1}{60}$; de las perturbaciones que por su atracción causa en los movimientos de Mercurio, de la Tierra y de los cometas, se ha podido deducir su masa, que es igual á $\frac{1}{7787}$ de la de nuestro globo, suponiendo que la de éste se represente por el número 1000; su densidad es algo más pequeña que la de la Tierra (0,807) y aunque estos elementos físicos difieren muy poco de los terrestres, bajo otros aspectos



A, 10 de diciembre

B, 15 de diciembre

C, 21 de diciembre

Fig. 71.—Dibujos de Venus por Schiaparelli
(Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia.)

son grandes las diferencias que existen entre Venus y el planeta que habitamos.

Cuando Venus se encuentra en circunstancias favorables para que se observen sus fases, se nota sin dificultad que la media luna iluminada por el borde exterior ó vuelta hacia el Sol, es mucho más brillante que la curva elíptica del lado opuesto, que sirve de límite entre la luz y la sombra. Según Schroeter, la luz de la media luna disminuye de un modo gradual, desde la curva externa hasta la terminadora de la parte central del disco; esta debilitación se cita como prueba de la existencia de la atmósfera de Venus, pues los rayos reflejados en el borde de la media luna tienen que atravesar una porción más pequeña de atmósfera, suponiendo que exista, que los rayos solares que se reflejan en las regiones próximas á la línea de separación de la parte oscura y la iluminada. Herschel, por su parte, acepta el hecho, por haberlo observado varias veces, relativo á la diferencia de iluminación, pero lo atribuye á un efecto de contraste, y supone

que existe un anillo ó especie de banda brillante de un ancho uniforme, que se extiende por los bordes del semicírculo.

Preténdese demostrar por algunos, con la debilitación que sufre la luz de las inmediaciones de la línea de separación de la parte oscura y la iluminada, que Venus tiene atmósfera; debemos hacer presente también que siendo el Sol mayor que Venus, ha de alumbrar más de un hemisferio del planeta, y que, por lo tanto, la línea que une los dos cuernos brillantes, no viene á ser el verdadero diámetro de Venus, sino una de las cuerdas colocadas más allá del centro del disco, suponiendo que miramos desde el Sol. El espacio que separa esta cuerda del verdadero diámetro del planeta, es muy fácil de determinar, y en realidad no pasa de un tercio de segundo, medido en la circunferencia de Venus; pero, á pesar de esta circunstancia, se percibe parte del disco del planeta, pasada esta línea de que hemos hablado, con una luz muy pálida, que se puede comparar á la de nuestros crepúsculos, si suponemos que los rayos tangentes á la superficie del suelo de Venus sean reflejados por su atmósfera y vayan á iluminar puntos situados debajo de la línea marcada por su primitiva dirección.

La zona de iluminación que abrazan estos rayos de segundo orden, es decir, no directos, demuestra que han sufrido una refracción de cierta importancia, y de valor superior al de la refracción horizontal que experimenta la luz al atravesar la atmósfera terrestre. Cuando el planeta Venus se encuentra próximo á su conjunción inferior, presenta una falce estrechísima, pudiéndose distinguir su contorno completo algo más allá de los cuernos brillantes iluminados directamente por el Sol.

Una observación de este género, efectuada por el Sr. Barnard en el Observatorio del monte Hamilton en diciembre de 1890, representa la fig. 72, en la que se ve el contorno del disco de Venus iluminado por la luz solar, como un delgado anillo brillante, casi completo, en particular el día 5, en que su longitud era de 340° ; y en algunos momentos de buena visibilidad, parecía cerrado del todo.

Hasta aquí hemos discutido la existencia de la atmósfera de Venus, estudiando el aspecto que presenta el planeta en sus distintas posiciones y fases; pero tenemos todavía otro examen que hacer, y por cierto en un caso muy adecuado, para ilustrarnos sobre el punto que tratamos de averiguar. Nos referimos á las raras ocasiones de sus pasos por delante del disco solar, pues ya sabemos que, como Mercurio, es un planeta interior que circula entre el Sol y la Tierra; de este importantísimo fenómeno nos ocuparemos más adelante. En 1761 se verificó uno de estos pasos, que fué observado por gran número de astrónomos; al proyectarse el cuerpo negro del planeta sobre el disco solar, apareció rodeado de un anillo nebuloso, el cual se hizo ligeramente brillante cuando la mitad del planeta se hallaba fuera del Sol y la aureola se proyectaba sobre el espacio, ó al menos, sobre la invisible atmósfera solar; de este hecho se deduce que Venus está rodeada por una envoltura gaseosa densísima.

No podemos entrar ahora en los detalles de un nuevo método de observación, que se funda en el análisis de la luz descompuesta en sus rayos elementales, estudio de que trataremos á su tiempo; mas, sin embargo, diremos que por este medio maravilloso de investigación se ha demostrado, no sólo que el planeta Venus está dotado de atmósfera, sino que ésta ofrece una composición por todo

extremo análoga á la de nuestro globo; véase lo que escribía el distinguido astrónomo italiano Tacchini, al día siguiente de verificarse el paso de Venus en diciembre de 1874: «....El fenómeno, pues, parece debido á la presencia de la atmósfera de Venus, cuya composición es *probablemente* del mismo género que la nuestra.»

Otro observador italiano, Respighi, de gran concepto, afirma, fundándose en sus propias observaciones, que no es posible negar la existencia de la atmósfera de Venus; que su densidad es igual á la de la atmósfera de la Tierra, ó quizá mayor, y su composición química en un todo semejante á la que ofrece nuestra envoltura gaseosa.

Los astrónomos europeos que fueron á observar el último paso de Venus, se

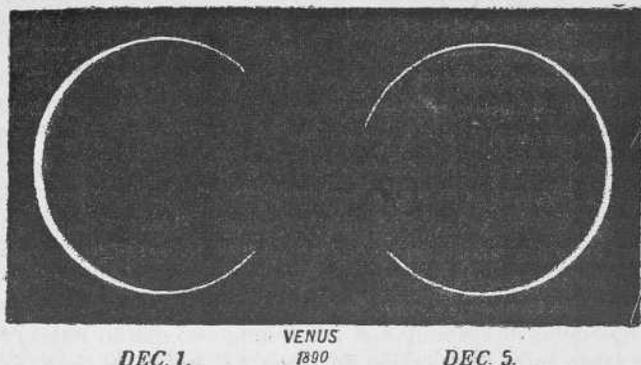


Fig. 72. - Aspecto de Venus en la época de su conjunción inferior el 1.º y el 5 de diciembre de 1890

dispersaron por las islas del Océano Indico, por la China y la Siberia y por el Africa; las estaciones ó puestos de observación se hallaban separados por espacios de mil y más leguas, encontrándose repartidos tanto en el hemisferio del Norte como en el austral. En casi todos estos observatorios provisionales se distinguió el mismo fenómeno en lo relativo á la existencia de la atmósfera de Venus.

Los astrónomos ingleses, instalados en Egipto, vieron en el momento en que el planeta mordió el borde del disco solar, que el arco de Venus que se proyectaba sobre el Sol aparecía iluminado por una aureola blanca, muy brillante, que rodeaba al planeta en la parte que se destacaba sobre el Sol; en el Japón observó el paso Mr. Janssen, el cual al dar cuenta de su observación dice que se presentó una anomalía, durante el paso, debida, en su opinión, á la atmósfera de Venus. Casi en los mismos términos se expresa Mr. Mouchez, que observó el paso en la desierta isla de San Pablo; un cuarto de hora después del primer contacto, cuando la mitad del planeta se encontraba todavía fuera del Sol, se distinguió de repente el disco completo de Venus, que se dibujaba como una aureola pálida; durante todo el paso aparecía el planeta de un color negro que tiraba ligerísimamente al violeta, rodeado de una corona luminosa algo amarillenta.

En China se observó también el fenómeno por varios astrónomos, que lo

describen de un modo semejante al que hemos mencionado; es muy interesante el siguiente relato del paso de Venus y del aspecto del planeta, según lo observaron dos astrónomos alemanes, instalados en la Nueva Gales del Sur. «No fué posible distinguir, dicen, ninguna porción del planeta, antes de su ingreso, aun cuando dirigimos nuestros telescopios hacia la región del cielo donde tenía por precisión que encontrarse, al faltar sólo diez minutos para el primer contacto. La observación fué exactísima. Pero cuando la mitad del planeta hubo entrado en el disco solar, la parte que aún permanecía fuera se dibujó por una curva de luz gris, de menos de un segundo de arco de espesor. Este halo se acrecentó gradualmente, tanto en ancho cuanto en esplendor, hasta que el borde externo de Venus se puso en contacto con el del Sol.»

La relación del astrónomo norteamericano Watson, que observó en Pekín, concuerda con las anteriores. He aquí una Memoria del astrónomo inglés Russel, que observó en Sidney.

«La observación inesperada de esta corona de luz ha sido objeto de grandes discusiones en el mundo astronómico, pues casi todos los observadores vieron un anillo ó corona luminosa, alrededor de la circunferencia del planeta, en la parte proyectada sobre el disco del Sol; también se ha observado, en las imágenes fotográficas obtenidas, que el planeta se halla rodeado por un anillo de plata muy estrecho. Las representaciones más perfectas de este anillo se ejecutaron en un paraje situado á 700 metros de altura sobre el nivel del mar, con una ecuatorial de 11 centímetros de abertura y en magníficas condiciones climatológicas. Se nota en las fotografías de Australia que la parte del disco de Venus visible fuera del Sol, debe su visibilidad al anillo luminoso que lo rodea, y no al contraste que existe entre esta porción del disco y el fondo del cielo. Este anillo se debe indudablemente á la refracción de los rayos solares á través de la atmósfera de Venus. La región de mayor brillo que se ha notado cerca del polo del planeta es en extremo interesante, tanto más, cuanto que ha sido observada por distintos astrónomos con completa independencia unos de otros. De esto se deduce que la atmósfera de Venus está dotada de un poder de refracción desigual, mayor en los polos que en el resto del planeta, por cuyo efecto se producen unas especies de crepúsculos que se extienden en una gran zona ó faja, presentándose á nuestros ojos como una línea brillante.»

En el paso del 6 de diciembre de 1882 se observaron fenómenos análogos, y de lo expuesto se deduce que el planeta Venus se halla dotado de una atmósfera de densidad casi doble que la de la Tierra, pues el cálculo demuestra, apoyándose en las observaciones, que la refracción de Venus es de 54', mientras que la terrestre no pasa de 33'; nos referimos á la refracción horizontal en la superficie de ambos planetas. Si representamos por 1.000 la densidad del aire, corresponde el número 1.890 á la densidad de la atmósfera de Venus, esto es, casi el doble.

Muy difícil es, como dejamos dicho, la observación de los cambios que presenta la superficie de este planeta, y parece que cuanto se ha escrito sobre su constitución física no son sino fantasías, puesto que, probablemente, jamás se ha visto su suelo. Sin embargo, á pesar de esta dificultad, no han dejado los astrónomos de especular sobre la materia, aunque con no mayor cautela que antes.

Así, para el Sr. Faye, Venus, de iguales dimensiones que la Tierra, igual masa é igual fuerza de gravedad en su superficie, habría de asemejarse á nuestro globo, salvo en su temperatura, que sería más elevada por consecuencia de su menor distancia al Sol, presentando á nuestra vista continentes, mares, islas, ríos y montañas; pero debido á que el planeta presenta siempre el mismo hemisferio al Sol, que ocupa constantemente el cenit, posee una temperatura tórrida, a paso que en el hemisferio opuesto, condenado á noche eterna y al frío extra-glacial del espacio, las condiciones son diametralmente contrarias. Los ligeros vapores que puedan elevarse en el hemisferio iluminado, no bien sean arrastrados por la

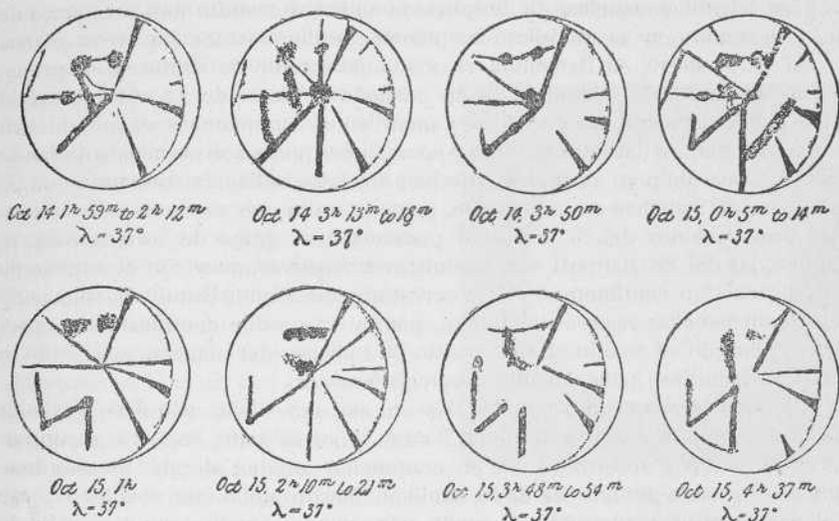


Fig. 73. - Dibujo del planeta Venus, obtenidos en 1896 por M. Lowell
(Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia.)

brisa á la región oscura, se helarán inmediatamente; estado físico que también tendrá el aire, y con más razón los mares; en esa región todo será un inmenso bloque de hielo. Sólo en la zona crepuscular, en el círculo terminador y sus inmediaciones, entre la luz y la sombra, mitad en el día eterno y mitad en la noche sin fin, podría admitirse una vida algo semejante á la de nuestro globo.

Para el Sr. Lowell, nada de esto es posible, porque sus observaciones le demuestran que Venus es un mundo muerto. Valiéndose del gran refractor de 24 pulgadas (61 centímetros) de su Observatorio de Flagstaff, en los Estados Unidos, efectuó en octubre de 1896 la serie de dibujos que representa la fig. 73.

Según el estado de nuestra atmósfera, empleó diversos aumentos, que varían de 140 á 300 veces; pero siempre, y al contrario de lo afirmado por casi todos los observadores, las configuraciones del planeta se veían con la misma distinción y claridad que los accidentes de la superficie lunar. Más que manchas, parecen líneas ó fajas que irradian de determinados puntos, como los rayos de una rueda, conservando su mismo aspecto y disposición constantemente; del

examen de sus dibujos deduce el Sr. Lowell que en el planeta no hay nubes, sino un velo tenue que forma la atmósfera, según se demuestra por el arco crepuscular; en Venus no hay agua ni vegetación de ninguna clase, y cuanto se ha dicho de los casquetes polares de nieve es una ilusión; se trata de un astro muerto, de un desierto.

Téngase en cuenta que, para el hábil observador Trouvelot, los casquetes polares eran las señales más brillantes y características que podían verse en Venus, y de un modo semejante se han expresado los astrónomos de Juvisy, según hemos visto antes, opinión en que no han persistido, pues recientemente calificaban las debatidas manchas de ilusiones de óptica, ó cuando más, de efectos de luz y de sombra en la atmósfera del planeta, producidos por los rayos solares.

El Sr. Fontseré, en Barcelona, se ocupó del estudio de Venus en los primeros meses de 1897, valiéndose de un pequeño refractor de 11 centímetros; el color del planeta era entre verdoso y amarillento, sus manchas se presentaban oscuras y claras y bastante visibles, y las regiones polares se asemejaban á las de Marte. Cerca del polo austral se cruzaban dos fajas brillantes, formando una X; esta clase de manchas es permanente, pero de brillo que aumenta y disminuye. Las observaciones del Sr. Fontseré pertenecen al grupo de las positivas; en cambio, las del Sr. Barnard son pesimistas ó negativas, pues con el antejo de 12 pulgadas (30 centímetros) del Observatorio de Mount-Hamilton, sólo pudo distinguir manchas vagas é indefinidas, que no era posible identificar, como para determinar con su auxilio el movimiento de rotación del planeta, sobre todo lo cual, en definitiva, nada sabemos desgraciadamente.

El planeta Venus emplea 584 días en dar una vuelta completa alrededor del Sol, según se observa desde la Tierra, y, por lo tanto, vuelve á encontrar se entre el Sol y nosotros, ó sea en conjunción inferior, al cabo de este tiempo; en el mismo período ha dado también nuestro globo una vuelta en torno del astro central y una parte de vuelta más, cuyo resultado es que, al cabo de cinco veces 584 días ú 8 años, se reproducen las conjunciones casi en los mismos días y en igual región del cielo. Si el plano de la órbita de Venus coincidiese con el de la eclíptica, siempre que el planeta pasase entre el Sol y nosotros, se proyectaría sobre el disco del luminar del día; pero, como dijimos en uno de los párrafos anteriores, la órbita de Venus forma, con la que nuestra Tierra describe idealmente en el espacio, un ángulo de $3^{\circ} 24'$ próximamente, de lo cual se desprende que, para que se verifique un paso de Venus, es necesario que la distancia del planeta al Sol, por encima ó por debajo, digámoslo así, sea menor que la cantidad que hemos señalado. Cuando se verifica uno de estos pasos, vuelve á repetirse á los ocho años, en virtud de lo expuesto anteriormente; pero esto no se reproduce de un modo indefinido, pues hay cierta variación en una de las coordenadas de los dos cuerpos, que hace que la distancia angular entre Venus y el Sol, por encima ó por debajo de este astro, exceda del valor de su semidiámetro, por lo que no pueden verificarse tres pasos sucesivos en 16 años. Si ambas órbitas estuviesen comprendidas en un solo plano, siempre que Venus pasase de su digresión oriental á la occidental se vería proyectado el planeta sobre el disco del Sol.

Los pasos de Venus son mucho más importantes que los de Mercurio, porque

permiten averiguar con exactitud grande el valor de la paralaje solar; también contribuye á darles mayor interés su propia rareza, pues verificado un paso en el período de ocho años que indicamos, no vuelve á repetirse el fenómeno sino un siglo después. Más adelante daremos la explicación completa de este hecho y entraremos en más detalles; pero conviene ahora que presentemos algunas ideas generales sobre el asunto, acompañadas de ciertas particularidades referentes á los pasos observados antes de ahora.

El primer paso de Venus, observado por los hombres, se efectuó el 24 de noviembre de 1639 (estilo antiguo), fecha que corresponde al 4 de diciembre del propio año. Horrox, astrónomo de Liverpool, se ocupaba en calcular las situaciones de los planetas con auxilio de las tablas de Lansberg; pero poco satisfecho con los resultados que obtenía, por ser muy erróneos, quiso emplear las tablas de Keplero; comparando los elementos que obtuvo de cada una de ellas, notó que las segundas indicaban que en 1639 había de pasar Venus en su conjunción inferior por debajo del Sol, aunque á muy corta distancia de este astro; y que, según las efemérides de Lansberg, tendría lugar un paso, si bien por la parte más elevada del disco solar. Tomó entonces Horrox, con gran acierto, un término medio entre los dos resultados, y por cálculos posteriores se convenció de que el paso había de verificarse. La premura del tiempo le impidió dar publicidad á su predicción, comunicándola únicamente á un amigo suyo, aficionado también á la astronomía, que se llamaba Crabtree. Hizo Horrox sus preparativos para observar el paso, disponiendo su antejo como aparato de proyección, con objeto de recibir la imagen solar sobre una pantalla en un cuarto obscuro. Según sus cálculos, Venus debía encontrarse en conjunción con el Sol el 24 de noviembre (estilo antiguo), á las tres de la tarde; pero temiendo perder la observación, comenzó su guardia desde el amanecer del día 23, que fué sábado; Horrox era ministro protestante y tenía, por lo tanto, que atender al culto de su iglesia al día siguiente, domingo; pero tan pronto como se vió libre de sus funciones, siguió su observación á las 3^h 15^m de la tarde, viendo al cabo recompensados sus afanes; he aquí la narración que presentó del suceso: «En este momento se apartaron las nubes, y como si la Divina Providencia hubiera querido premiar mis desvelos, apareció el Sol en todo su esplendor. ¡Admirable espectáculo! El objeto de mis más ardientes deseos se presentó ante mis ojos, y pude distinguir una mancha de tamaño poco común, de una redondez perfecta, que acababa de entrar completamente por el borde izquierdo del Sol, de tal modo, que su margen y el de la mancha coincidían, formando el ángulo de contacto.» En Inglaterra, en el mes de diciembre, se pone el Sol muy temprano, así que

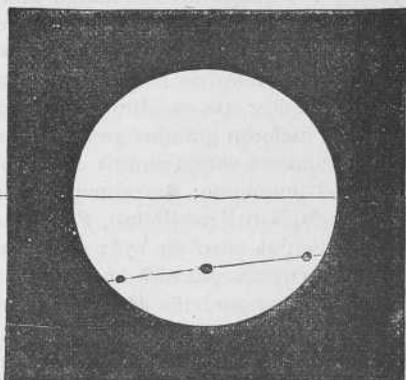


Fig. 74. — Paso de Venus por el Sol el 6 de diciembre de 1882

Horrox tan sólo pudo observar el paso durante una media hora; pero al fin había conseguido ver realizados sus deseos, y aun llegó á tomar algunas medidas del planeta.

El amigo de Horrox, Crabtree, también hizo sus preparativos para observar el fenómeno. Sin embargo, durante todo el día estuvo nublado, y ya desesperaba el entusiasta astrónomo del éxito de su vigilancia, cuando poco antes de la postura del Sol se disiparon momentáneamente las nubes y apareció el astro luminoso del día, en la pantalla del instrumento, con una hermosa mancha negra, que no era otra cosa sino el planeta Venus. Tan intensa fué la emoción de Crabtree, que antes que volviera de su arrobamiento, se cubrió de nuevo el cielo y no volvió á ver el planeta; pudo, no obstante, hacer de memoria un dibujo, muy parecido al que obtuvo su amigo Horrox.

Después de esta fecha, no ocurrió ningún otro paso hasta el del 5 de junio de 1761, que fué observado por varios astrónomos, con objeto de averiguar con exactitud el valor de la paralaje solar, según el método propuesto por Halley; los resultados que se obtuvieron dejaron mucho que desear. Para el paso de 1769 se hicieron grandes preparativos por los gobiernos europeos, que enviaron expediciones á varios puntos del globo favorablemente situados para la observación del fenómeno; las principales estaciones fueron las de California, islas de Sandwich, San Petersburgo, Pekín, Laponia y Oceanía.

Así en el paso de 1761 como en el de 1769, se observó que el disco de Venus aparecía rodeado de una aureola brillante, que se proyectaba sobre el disco solar, muy parecida á la que Mercurio había presentado en ocasiones análogas. La anchura de este anillo medía unos cinco ó seis segundos; su color era blanco, escasa su intensidad en el límite externo y más brillante hacia los bordes del planeta; algunos astrónomos estimaban que esta corona luminosa es más blanca y más brillante que el cuerpo mismo del Sol, pero sobre este punto hubo mucha discordancia entre los observadores. También se notó que cuando el planeta había entrado por completo en el disco solar, aún aparecía unido al limbo, presentando la forma de una pera, y que en su egreso se repitió la misma particularidad, pues algunos segundos después del último contacto, todavía no era circular la forma del planeta. Este fenómeno se explica por la irradiación.

Los últimos pasos de 1874 y 1882 se han observado por distintos métodos, á cual más perfectos: la fotografía ha permitido obtener una representación exacta y permanente del fenómeno en sus distintas fases, facilitando su estudio, que por este medio puede verificarse cómodamente en la tranquilidad del gabinete. Poco se conoce todavía acerca de los resultados obtenidos; pero podemos decir que el aspecto general del fenómeno ha sido en un todo semejante al del paso de 1769, según habrán notado nuestros lectores por lo que dijimos en el párrafo relativo á la atmósfera de Venus.

Los pasos que ocurrirán en el siglo XXI son los siguientes:

| Años | Días | Hora astronómica | Duración |
|-----------|------------------|--|--------------------------------|
| 2004. . . | 7 junio. | 21 ^h 0 ^m 44 ^s | 5 ^h 30 ^m |
| 2012. . . | 5 junio. | 13 27 0 | 6 42 |

CAPITULO IV

LA TIERRA

Ligeras ideas sobre la situación y forma de la Tierra. — Pruebas vulgares del movimiento de rotación de la Tierra. — Forma verdadera y dimensiones de la Tierra. — Estudio del movimiento de rotación de la Tierra. — Estudio del movimiento de traslación de la Tierra. — El día y la noche. — Las estaciones. — Latitudes y longitudes terrestres. — Mapas geográficos.

Después de haber visitado los mundos de Mercurio y Venus, tenemos que ocuparnos de nuestra Tierra, que tan sólo es un astro, y no muy importante, de los infinitos que pueblan los espacios etéreos.

No hay duda que al lector que ahora por primera vez toma un libro de astronomía en la mano, parecerá extraño ver clasificada á la Tierra entre los cuerpos celestes, y que se suponga la menor comunidad de naturaleza entre cosas que tan desemejantes aparecen. Porque, á la verdad, ¿qué puede darse de más diferente aspecto que la Tierra con su vasta y casi inconmensurable extensión, y las estrellas que sólo como puntos se perciben? Además, la Tierra es oscura y opaca, y los cuerpos celestes brillantes; en aquélla no percibimos movimiento, y en éstos observamos una continua variación de lugar, según las diferentes horas del día ó de la noche, ó según las varias estaciones del año. Tanto pudo esta razón de diferencia, que los antiguos, con sólo la excepción de uno ó dos de los más ilustrados, no admitieron semejante comunidad de naturaleza. Los cuerpos que hasta ahora hemos examinado, se presentan á nuestra vista como discos ó círculos, cuando en realidad son esferas de radio gigantesco; los demás cuerpos del sistema solar aparecen en los anteojos también como discos circulares, y siendo, pues, todos los planetas esféricos ó esferoidales, y la Tierra un individuo de la familia planetaria, es lógico suponer que su forma sea igual á la de los demás astros que la acompañan en su eterno viaje. Si nos fuera posible observar la Tierra desde un punto del cielo bastante lejano, la distinguiríamos como un globo casi esférico, aislado por completo en el espacio. Esta idea es muy antigua y se ocurrió ya á los filósofos griegos, entre ellos á Anaximandro que, 600 años antes de la era cristiana, sostenía la redondez de la Tierra.

La Tierra es el primer astro que encontramos en el cielo, caminando acompañado por un fiel satélite; Mercurio y Venus hemos visto que navegan solos; pero nosotros trazamos nuestra eterna estela por el infinito, escoltados por la hermosa Diana que gira á nuestro alrededor, del mismo modo que la Tierra lo hace en torno del Sol. Un observador que se alejase gradualmente de nuestro planeta, lo vería como un globo cuya mitad anterior estuviese iluminada por los rayos solares, mientras el resto permanecía en la sombra, creciendo su brillo á medida que aumentase la distancia entre el observador y el astro Tierra, porque

la luz del Sol, reflejada en su superficie, se concentraría en un disco de dimensiones cada vez más exiguas; y por último, nuestro globo, como los dos planetas descritos anteriormente, presentaría fases cuya magnitud (fig. 75) dependería de las situaciones relativas del luminar del día y del observador. A la distancia de la Luna, aparecería la Tierra bajo la forma de un disco luminoso con manchas

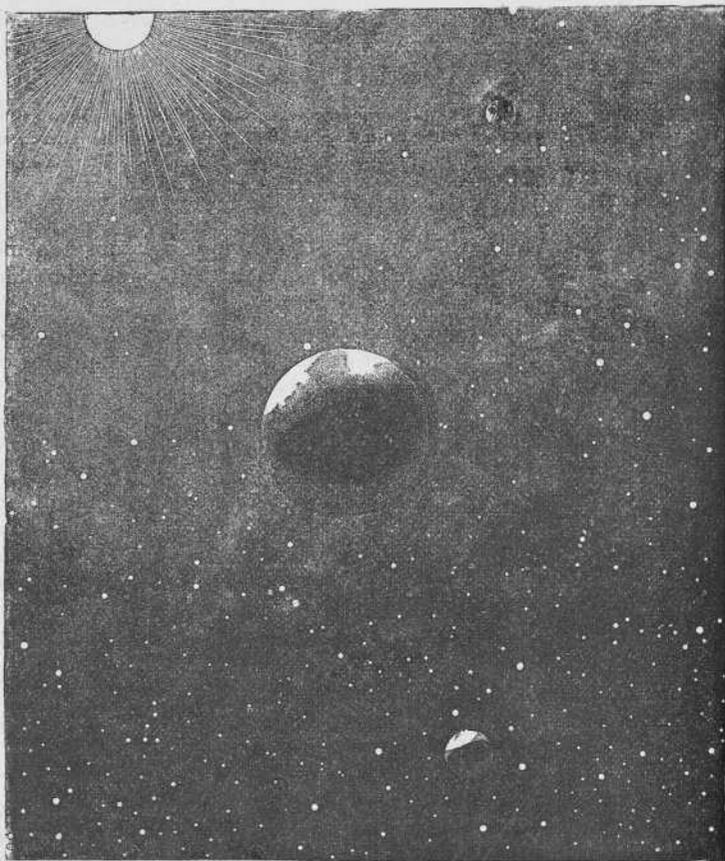


Fig. 75. — La Tierra aislada en el espacio

obscuras y brillantes, que indicarían la presencia de los mares las primeras, y de las tierras las otras; cerca de los polos se distinguirían unas manchas más deslumbradoras aún, que marcarían las perpetuas nieves y los hielos de las regiones ártica y antártica. Estas manchas sólo serían visibles mientras nuestra atmósfera se hallase despejada; pues en el caso contrario, aparecerían otras manchas movedizas, producidas por las masas de vapores de nuestra envoltura gaseosa, cuando las lluvias regasen nuestros campos y los temporales azotasen nuestros mares.

A la distancia que hemos supuesto, aparecería la Tierra como cuatro veces mayor que la Luna; de suerte que, vista cuando presentase el hemisferio completo iluminado por el Sol, brillaría la Tierra tanto como trece lunas reunidas; á la distancia de 400.000 leguas, todavía parecerían iguales nuestro planeta y su satélite; pero á medida que el observador se alejase, iría disminuyendo el diámetro aparente de la Tierra, hasta quedar convertida en un imperceptible punto brillante, que desaparecería por completo si seguíamos aumentando la distancia.

La ciencia ha determinado la forma y dimensiones de la Tierra; á primera vista parece un problema insoluble averiguar la forma general de un cuerpo cubierto de empinadas montañas y fragosas cordilleras y cruzado en todos sentidos por valles profundos y caudalosos ríos; sin embargo, sabemos que las pequeñas asperezas de la naranja, por ejemplo, no han impedido que todos consideren

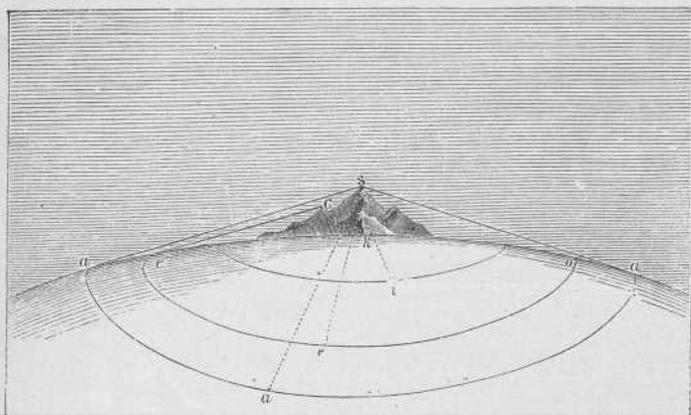


Fig. 76. — Horizonte de un punto á diversas alturas

que esta fruta es sensiblemente esférica. ¿Y no sería posible que las dimensiones de nuestro globo fuesen tan considerables, que las más altas montañas, comparadas con su total tamaño, apareciesen muchísimo más pequeñas aún que las rugosidades de la piel de la naranja en relación con su diámetro?

Veamos qué pruebas nos suministra la ciencia en demostración de la esfericidad de la Tierra.

Para un observador situado en una llanura, y mejor en el mar, el horizonte aparece en forma de círculo. En los campos suele presentar algunas sinuosidades la línea en que aparentemente se juntan la tierra y el cielo; y decimos aparentemente con un doble sentido, pues no sólo no se tocan, pero ni tampoco el círculo que limita la parte visible de la superficie del suelo marca la distancia á que se detiene nuestra vista; si nos elevamos á diversas alturas verticales, el radio del círculo aumenta en proporción, y podemos distinguir objetos que, desde el suelo, eran por completo invisibles. Por esta razón colocan los marinos sus vigías en los topes de los palos, para distinguir los barcos ó la tierra firme. En la figura 76 se representa una montaña en el centro de un llano, cuya curvatura per-

tenece á un esfera; desde la base de la montaña sólo distingue el espectador un horizonte muy limitado cuyo radio puede ser ki ; si sube á la mitad de la falda, á c , por ejemplo, su rayo visual se aumenta, alcanza una extensión superior á la del primer horizonte y descubre un espacio circular $oe e'$, cuyo radio sería ce' ; en el vértice del monte, en s , se ensancha más todavía el horizonte, y si la atmósfera está despejada, se ven aparecer nuevos objetos en puntos que no podían observarse desde la base, pues sólo encontraba la mirada del observador el color azul del cielo.

La superficie de los mares, cuando no están agitados por las borrascas, es

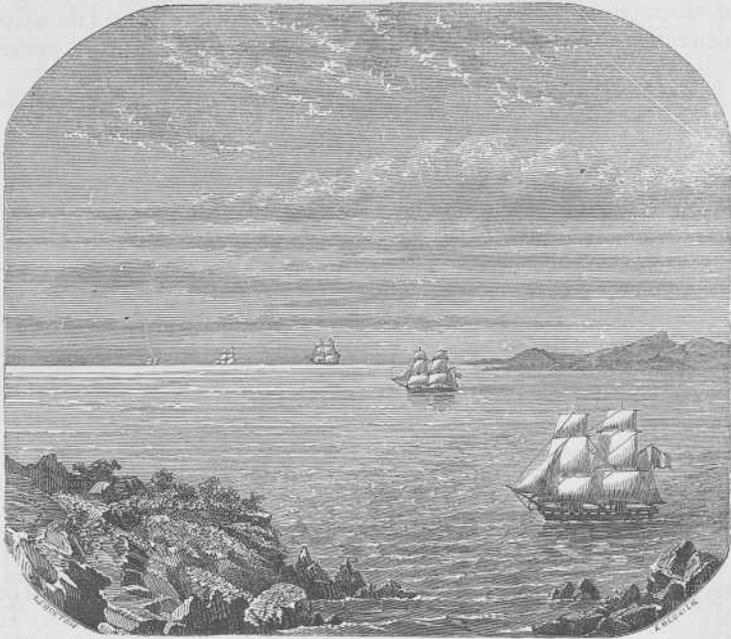


Fig. 77. — Demostración de la curvatura de la superficie de la Tierra

curva, y acusa perfectamente la forma esférica de la Tierra; esto podemos comprobarlo á cada paso en los puertos de mar, si observamos cómo va desapareciendo un buque que se aleja de la costa. Al principio, cuando el barco está próximo á nosotros (fig. 77), el límite visible del mar, esto es, la línea azul que forma la separación aparente entre el cielo y las aguas, pasa por encima de los mástiles del buque, mientras el mismo mar viene á ser el fondo sobre el cual se proyecta la forma toda; á medida que el barco se aleja, van perdiéndose de vista, primero el casco, luego las velas bajas, y por último los topes ó extremos de los palos; este fenómeno se observa siempre en los puertos de mar, y con auxilio de un buen antejo de larga vista, se distinguen perfectamente las velas y aparejos de los buques cuando aún no son visibles los cascos.

Del propio modo, los tripulantes del buque pierden primero de vista la playa, que es lo más bajo, y sucesivamente las colinas ó eminencias, y por último la cima de las montañas: el pico de Tenerife, en circunstancias favorables, se distingue desde el mar á muchas leguas de distancia y cuando todavía han de tardarse tal vez días en percibir las playas de la isla. Si el barco se moviese en una superficie plana, y desapareciera de nuestra vista, en razón tan sólo de la distancia á que se encontrase, por la pequeñez del ángulo subtendido, dejaríamos de verlo de una vez, ocultándose á un mismo tiempo el casco, las velas inferiores, las altas y los topes de los palos. La explicación del fenómeno se encuentra sencillamente inspeccionando la fig. 78, en la que se representa la ruta de un barco, vista de perfil sobre la superficie convexa del mar. La parte material de un buque que desaparece á una distancia determinada, mide, por decirlo así, la curvatura del Océano en la dirección en que se ha observado, y como se ha visto que en cualquiera dirección desaparece un buque á igual distancia, se deduce, razonablemente, que la convexidad del mar es igual en todos sentidos, propiedad de que tan sólo participa la esfera. También se ha observado que este fenómeno



Fig. 78 - Curvatura de los mares: posiciones sucesivas de un buque con relación al horizonte de la costa

se verifica en todos los mares de la Tierra; luego ésta es redonda, pues la esfera es el único cuerpo que de todas suertes y en todas posiciones aparece siempre circular.

Sobre la tierra firme podemos ejecutar observaciones semejantes y aún mucho más exactas; pero dejando su exposición para más adelante, presentaremos algunos hechos de carácter general, que confirmen nuestras primeras afirmaciones.

Otra prueba de la esfericidad de la Tierra nos la suministran los viajes verificados alrededor del mundo, llamados también de circunnavegación; si la Tierra fuese plana, no hubieran hallado los viajeros su límite por mucho que hubiesen caminado, ó en caso contrario, habrían tropezado con la barrera ó baranda que marcase el *non plus ultra*; pero nada de esto ha sucedido. Un individuo que sale de un punto con dirección al oriente, de suerte que todos los días aguarde, para continuar su jornada, á que el Sol aparezca sobre el horizonte á fin de dirigirse siempre al lugar por donde se muestra, y que de este modo atraviere tierras, montes y mares, llega al cabo á entrar en el punto de partida por el Oeste, esto es, por el lado contrario al de su salida, habiendo dado, por lo tanto, una vuelta completa.

Mas no vaya á creerse que este es un viaje fantástico; se efectúa en nuestra época, si no precisamente del modo que hemos expuesto, de otro casi idéntico, en el espacio de mes y medio.

Esta afirmación hoy día se ha comprobado sucesivamente durante todos los viajes que la aviación realiza diariamente. Es por tanto tan admitida que nadie es capaz de ignorarlo.

Fernando de Magallanes, famosísimo marino portugués, fué el primero que trató de dar la vuelta al mundo; el 10 de agosto de 1519 zarpó este atrevido navegante del puerto de Sevilla, con rumbo al Oeste, esto es, hacia las Américas, con objeto de buscar por la parte meridional del continente un estrecho que le permitiera pasar al grande Océano del Sur. Las calmas ecuatoriales lo detuvieron durante setenta días, llegando á creer los marineros que habían penetrado en una región en la que jamás soplaban los vientos y de la que les sería imposible huir; al cabo alcanzaron la costa del Brasil, y dirigiéndose hacia el Sur, hallaron el estrecho que conduce al Pacífico y que lleva el nombre de su inmortal descubridor. Durante cuatro meses navegaron por el inmenso Océano que separa el Asia de la América, sufriendo terribles privaciones; la necesidad obligó á Magallanes y á sus compañeros á beber agua corrompida y á comer pedazos de cuero; tras mil fatigas y miserias abordaron á una de las islas de la Oceanía, donde halló la muerte el ilustre jefe de la expedición. Su teniente, Sebastián Elcano, tomó entonces el mando del *Santa Victoria*, y se encaminó al cabo de Buena Esperanza, que dobló después de una navegación penosísima, entrando en Sanlúcar de Barrameda el 7 de septiembre de 1522, como si viniese de Oriente, habiendo realizado la hazaña más estupenda que registran los fastos de la humanidad; la de haber dado la vuelta al mundo.

Posteriormente, con los nuevos medios de locomoción de que el hombre dispone, este viaje se hace facilísimamente y en el transcurso de unas semanas, así de Oriente á Occidente, como de Norte á Sur. La Tierra, pues, es una esfera aislada en los espacios.

Durante un eclipse de Luna que se produce por la interposición de la Tierra entre el Sol y nuestro satélite, se ve que la sombra que invade el plateado disco del luminar de la noche es siempre circular, sea el que quiera el lugar del globo de donde se observe, y una sombra de esta forma sólo puede producirla, en todas circunstancias, un cuerpo esférico.

Otras pruebas en favor de la redondez de la Tierra y de carácter más elevado, las hallamos en el aspecto diverso que presenta el cielo á un viajero que, por ejemplo, se dirija de los polos hacia el ecuador ó viceversa; en ambos casos verá que cambia sin cesar el aspecto de la bóveda estrellada. Hay una estrella en el cielo, con la que haremos conocimiento más adelante, la Polar, que sin duda, de oídas al menos, conocerán nuestros lectores; esta estrella está casi inmóvil en el cielo, muy inmediata al polo Norte, y desde una localidad cualquiera siempre se presenta á la misma altura sobre el horizonte. Ahora bien; si nos alejamos en dirección al Sur, comienza la estrella á bajar, acercándose al horizonte hasta que desaparece; y si desde este momento volvemos á caminar en sentido contrario, volverá á aparecer, colocándose precisamente sobre nuestra cabeza si llegásemos á alcanzar el polo. No vaya á creerse que este fenómeno es semejante al de la desaparición del buque que hemos referido, pues la distancia de la estrella es infinita, y sin la convexidad terrestre siempre parecería en el mismo punto, demostración que se encuentra si en vez de caminar de Norte á Sur, nos dirigimos de Este á Oeste, pues en este caso la Polar aparece siempre á igual altura sobre el horizonte.

Cuando vemos al Sol ocultarse por el occidente á la caída de la tarde, y apa-

recer de nuevo por el oriente, como no podemos dudar de que es el mismo Sol el que vemos después de una corta ausencia, tenemos que aceptar forzosamente que ha debido pasar por debajo de la Tierra, y no como quiera por una especie de canal subterráneo, porque si reparamos en los puntos por donde se pone y sale en varios días consecutivos, ó en el término de un año, veremos que constantemente van éstos variando y que comprende una extensión considerable del horizonte; y finalmente, porque por todos los puntos visibles de éste se ponen y salen la Luna y los demás astros; luego la Tierra no se extiende indefinidamente en profundidad ni en superficie, puesto que los astros pasan por encima y por debajo de ella.

A pesar de las pruebas que hemos presentado sobre la redondez de la Tierra, pruebas que ampliaremos al demostrar su movimiento de rotación y su aislamiento en el espacio, aún habrá personas que experimenten cierta repugnancia en admitir que podamos vivir en una bola y encontrarnos, á veces, con la cabeza hacia abajo y los pies para arriba. Los antiguos astrónomos, que entrevieron la redondez y aislamiento de nuestro planeta, no acertaban á comprender cómo esta inmensa esfera *no se caía*, ni de qué modo pudiera sostenerse en el espacio. Esta dificultad de los antiguos observadores y de las personas modernas poco versadas en las ciencias, proviene de la idea falsa que en general se tiene de la caída de los cuerpos. Es necesario tener presente que un cuerpo *cae* sólo cuando es atraído por otro; en la superficie terrestre el fenómeno de la caída de un cuerpo pesado tiene una significación muy restringida; un cuerpo más pesado que el volumen de aire que desaloja, abandonado á sí mismo, se precipita de alto abajo en la dirección de la vertical del lugar, por la atracción que ejerce la masa de la Tierra, que puede considerarse como reunida toda en el centro. Cuando un cuerpo se halla libre en el aire, la masa de la Tierra lo atrae, porque es la única fuerza que tiene cerca de sí, y *cae*, porque la Tierra está debajo; si hubiese otro astro ó masa como la Tierra sobre el cuerpo libre, no caería, pues las fuerzas atractivas de los dos globos se equilibrarían; pero alrededor de nuestro planeta circulan otros de grandes masas que lo sostienen en una posición determinada, sin que nunca pudiera aplicarse á la Tierra la voz *caer*, que carece de sentido al tratarse de la profundidad infinita de los cielos.

Si la Tierra se apoyase sobre cualquier cuerpo sólido por algún punto de su superficie, este arrimo ó cimientto, que necesariamente habría de ser muy grande, se distinguiría desde alguna parte, y arrancaríá del suelo de nuestro planeta para perderse en las alturas del cielo á una distancia infinita; pero los navegantes y viajeros han recorrido la Tierra en todos sentidos sin haber visto jamás semejante sustentáculo; además, si se dijese con algunos antiguos astrónomos que los ejes de la Tierra se hallan en los polos, podemos responder que los cometas han cruzado en varias ocasiones por los lugares del cielo que debiera ocupar el inmenso pilar, sin haber sido detenidos en su camino.

Tratemos ahora del movimiento de rotación de nuestro planeta.

La dificultad de concebir que la Tierra esté aislada en el espacio y de que además gire sobre su eje, conocemos que es muy grande, y que esta idea, para ser admitida, necesita fundarse en pruebas muy sólidas. Intentaremos presentar algunas.

Debe tenerse presente que, cuando hablamos del movimiento de la Tierra, nos referimos á su conjunto, con cuanto encierra dentro de sí ó sustenta en su superficie; que se trata de un movimiento común á la masa sólida, al océano que la circunda, al aire que tiene encima, y á las nubes que en éste vagan. Un movimiento de tal especie, que en nada altera la posición relativa de los objetos terrestres, que no impide ni dificulta procedimiento natural alguno, y que ninguna sensación causa de choque ó sacudimiento, es evidente que pudiera muy bien subsistir sin que lo percibiésemos. No hay sensación particular que nos advierta que estamos en movimiento. Cuando, por ejemplo, vamos en el ferrocarril, con las cortinas corridas, ó con los ojos cerrados para no ver los objetos exteriores, percibimos, sí, su movimiento de trepidación producido por la desnivelación de la vía y otras causas, pero no formamos idea del movimiento progresivo; y cuanto más llano es el camino, menos idea tenemos del movimiento en que nos hallamos, aun cuando éste sea más rápido; así es que en el tren, no contando con el ruido que produce y ni con la rapidez con que parecen venirse encima los objetos externos, la sensación es casi la de una quietud perfecta. Pero donde más satisfactoriamente percibimos la identidad de sensación de los estados de movimiento y reposo, es á bordo, por razón del gran sistema que se mantiene en movimiento, y de hallarnos rodeados de una multitud de objetos, que todos participan, como nosotros, del movimiento común á la masa general. En la cámara de un buque grande de vela, que navega con buen viento y mar llana, ó que va á la sirga en un canal, ni la menor indicación hay que nos advierta del camino que vamos haciendo; leemos, nos sentamos, paseamos y ejercemos todos los actos usuales como si estuviéramos en tierra. Si echamos al aire una pelota, vuelve á caernos en la mano; y si la soltamos, bota á nuestros pies; los insectos zumban en derredor de nosotros como si fuera al aire libre, y el humo de las lámparas ó de nuestros cigarros, asciende del mismo modo que lo haría en un aposento en tierra. Es verdad que si salimos sobre cubierta, varía algún tanto el caso bajo ciertos respectos; el aire, que no participa aquí de nuestro movimiento, arrebatá al parecer el humo y otros cuerpos leves, como plumas, copos de algodón, etc., en dirección contraria á la del movimiento del buque; al parecer decimos, porque realmente los tales cuerpos no hacen más que quedarse quietos, y nosotros los dejamos detrás en el aire. Mas aún aquí la ilusión, en cuanto concierne á masas algo considerables y á nuestros propios movimientos, continúa siendo completa, y cuando miramos á la orilla, percibimos el efecto de nuestro movimiento trasladado en dirección contraria á los objetos externos, esto es, externos respecto del sistema de que formamos parte.

Guiados por consideraciones análogas á éstas, sospecharon algunos filósofos griegos que florecieron cinco y cuatro siglos antes de J. C., entre otros, Filolao de Crotona, Ecfanto el pitagórico, Heráclido de Ponto, discípulo de Platón y de Aristóteles, Nicetas de Siracusa y Aristarco de Samos, que el movimiento diurno de la esfera estrellada era una simple apariencia que dependía de la rotación de la Tierra sobre su centro. Sin embargo, la historia no nos ha conservado ningún argumento en favor de esta hipótesis, profesada principalmente por la escuela de Pitágoras.

Aristóteles creía que los planetas y las estrellas no eran precisamente los que

giraban alrededor de la Tierra, sino los cielos de cristal que los soportan y en los que se encuentran enclavados aquellos cuerpos; los cielos eran esféricos y cada astro tenía el suyo, incluso el Sol y la Luna. Séneca no admite ni rechaza la opinión del movimiento de la Tierra y se expresa sobre este punto con gran reserva; considera de la mayor importancia examinar si la Tierra se encuentra inmóvil en el centro del mundo, ó si gira sobre sí misma en el interior de la inmensa esfera de los cielos, que permanecería fija; hace referencia á la opinión de otros filósofos que consideran la salida y postura de los astros como debida al movimiento terrestre, y se pregunta si vivimos en una estancia perezosa, ó si Dios hace girar todo á nuestro alrededor, ó si nos hace girar á nosotros mismos.

Una de las pruebas que presentaban los antiguos para demostrar la imposibilidad del movimiento de la Tierra, se apoyaba en una anécdota de Suidas, quien refería que los babilonios cocían los huevos colocándolos en una honda, á la que imprimían rápidamente un movimiento de rotación rapidísimo. Si esto era así, agregaban ciertos filósofos, el movimiento terrestre, que es mucho más veloz, debe desarrollar en la superficie del globo un calor extraordinario por el rozamiento de la atmósfera; pero como sabemos que la atmósfera acompaña á la Tierra en su movimiento, la objeción carece de fuerza.

La teoría de los cielos cristalinos y transparentes de Aristóteles fué acogida por un astrónomo del siglo xv llamado Purbach, quien en vez de suponer que cada astro se hallaba como fijo y sujeto en un cielo, admitía que el movimiento de los astros se verificaba entre dos esferas concéntricas, que lo contenían y obligaban á seguir precisamente su ruta ú órbita; si los cometas rompían y quebraban los cielos sencillos de Aristóteles, del mismo modo habrían de atravesar los dobles de Purbach. Lo que es verdaderamente extraño es que el famoso canciller Bacon, fundador, puede decirse, de la moderna reforma científica, al hablar de las teorías de Aristóteles, dijese: «Nada hay más falso que estas especulaciones, exceptuando los movimientos de la Tierra, más falsos aún.»

Copérnico, canónigo de Thorn, que floreció en el siglo xvi, trató de resolver las dificultades que se presentaban en los movimientos de los astros, según la teoría de los cielos cristalinos y de los epiciclos, resucitando las ideas sustentadas por el filósofo pitagórico Filolao. Examinó Copérnico, primero, si la teoría concordaba con la observación de los fenómenos, averiguando que las relaciones de las distancias de los planetas al Sol pueden determinarse suponiendo que la Tierra gire en torno del lumínar primario de nuestro sistema, si bien el ilustre astrónomo no pudo explicarse las irregularidades del movimiento del Sol y de los planetas. Supuso que la Tierra estaba animada de tres movimientos: uno de rotación alrededor de su eje de Occidente á Oriente, que ejecutaba en el transcurso de veinticuatro horas, produciéndose así el día y la noche; otro en el espacio de un año, y en igual sentido que el anterior, alrededor del Sol; y el tercero, que llamaba de declinación, en dirección opuesta á los signos del zodiaco ó sea de Oriente á Occidente.

La doctrina de Copérnico contradecía, al parecer, los textos bíblicos tomados al pie de la letra, y en consecuencia, fué condenada por la congregación del Índice Expurgatorio, así que se propagó con extraordinaria lentitud. Galileo, que en 1600 era profesor de la Universidad de Padua, expuso con valentía el siste-

ma del astrónomo de Thorn, causando con sus lecciones el mayor entusiasmo, y dando lugar á ardientes polémicas, en las que rechazaron las modernas ideas los teólogos y los peripatéticos, partidarios de la inmovilidad de la Tierra. La persecución del ilustre toscano y su proceso y abjuración hicieron que se extendiese profusamente su célebre obra, *Diálogo sobre el sistema del mundo*, en la que presenta con admirable lucidez cuantos argumentos pueden hacerse en pro y en contra del movimiento de la Tierra. Cometi6 Galileo el error de interpretar á su modo los pasajes de la Biblia que tenían relación con la astronomía, conducta que se consider6 en Roma peligrosísima; también, según algunos críticos, ridiculizaba en su *Diálogo* á determinados personajes importantes de la corte romana, entre ellos á Urbano VIII, los cuales influyeron en el ánimo de los cardenales para que el ilustre sabio fuese llamado á Roma con objeto de que presentara sus descargos, pero en realidad para que se le condenase.

El venerable anciano (Galileo en esta fecha, 1637, tenía setenta años), enfermo y casi ciego, se vi6 obligado á dirigirse á Roma para vindicarse de las acusaciones de que era objeto, siendo condenado por la Inquisición á encierro perpetuo mientras fuese la voluntad del Santo Padre, á pesar de la abjuración solemne que hizo de sus supuestas herejías (1). El papa Benito XIV anul6 la sentencia de la Inquisición muchos años después, relativa á la prohibición de los

(1)

Sentencia de Galileo

«Siendo tú, Galileo, hijo del difunto Vicente Galileo, florentino, de edad á la presente de 70 años, el que fuiste denunciado en 1615 á este Santo Oficio:

»Que tienes por verdadera la falsa doctrina enseñada por muchos de que el Sol sea el centro del mundo é inm6vil y que la Tierra se mueva también con movimiento diurno:

»Que tenías algunos discípulos á los cuales enseñabas la misma doctrina;

»Que sobre ella has tenido correspondencia con algunos matemáticos de Alemania;

»Que has hecho imprimir algunas cartas tituladas *De las manchas solares*, en las cuales desarrollas igual doctrina como verdadera;

»Y que á las objeciones que á las veces se te hacían tomadas de la Sagrada Escritura, respondías comentando dicha Escritura conforme á tu sentido; y sucesivamente se presentó copia de un escrito en forma de carta, que se decía estar escrita por ti á un discípulo tuyo, en la cual siguiendo la proposición de Copérnico, se contienen varias proposiciones contra el verdadero sentido y autoridad de la Sagrada Escritura:

»Queriendo este Santo Tribunal prevenir el desorden y el daño que de aquí puede seguirse y crecer con perjuicio de la Santa Fe: de orden de Nuestro Señor y de los eminentísimos señores Cardenales de esta suprema y universal Inquisición, fueron por los calificadores Teólogos calificadas las dos proposiciones de la estabilidad del Sol y del movimiento de la Tierra, esto es:

»Que el Sol sea centro del mundo é inm6vil de movimiento local, es proposición absurda y falsa en filosofía y *formalmente herética* por ser expresamente contraria á la Sagrada Escritura:

»Que la Tierra no sea el centro del mundo inm6vil, sino que se mueva también con movimiento diurno, es igualmente proposición absurda y falsa en filosofía y considerada en teología *ad minus* err6nea en Fe.»

Después de estas premisas, dignas en verdad de gentes que tan gran prueba daban de su ignorancia, se agregaba que Galileo había incurrido en todas las censuras y penas conminadas por los Sagrados Cánones, concluyendo así la sentencia:

«Para que este grave y pernicioso error tuyo y transgresión no quede por completo impune, y seas más cauto en lo sucesivo, y sirvas de ejemplo á los demás para que se abstengan de delitos semejantes, ordenamos que por edicto público se prohiba el libro de los diálogos de Galileo Galilei: y te condenamos á la cárcel formal de este Santo Oficio por el tiempo que nos plazca

libros de Galileo. Los partidarios de la vetusta idea de la inmovilidad y fijeza de nuestro globo fueron desapareciendo poco á poco, y hoy día la teoría del movimiento de la Tierra se enseña en todas partes, hasta en Roma; el P. Secchi dice en una de sus obras: «El movimiento de rotación de la Tierra alrededor de su eje es una verdad, que en nuestros días no necesita demostración, pues es, en efecto, un corolario de toda la ciencia astronómica.»

No obstante esta opinión respetabilísima, vamos á presentar algunos experimentos y pruebas materiales que demuestran el movimiento rotatorio de nuestro globo.

Las mediciones del globo terrestre, de las que más adelante daremos una descripción sumaria, han demostrado que el diámetro ecuatorial es mayor que el polar; ó de otro modo, que la Tierra no es una esfera, sino un esferoide, figura sólida engendrada por la revolución de media elipse alrededor de uno de sus ejes; pues bien, esta forma la ha adquirido la Tierra precisamente por el movimiento rotatorio de que está animada. En las clases de física, para demostrar algunos de los efectos de la fuerza centrífuga,

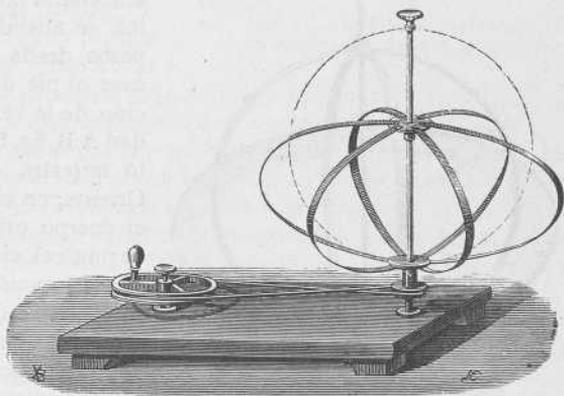


Fig. 79. - Efectos de la fuerza centrífuga

se emplea un aparato como el representado por la fig. 79, compuesto de dos círculos de acero que pueden girar alrededor de la varilla que les sirve de eje. Imprimiendo á la rueda un movimiento de rotación rápido, los círculos pasan, de la forma representada por la línea circular de puntos, á la indicada en la fig. 80 con más exactitud, siendo tanto más pronunciada la elipticidad de los muelles, cuanto mayor sea la rapidez del movimiento; nuestro globo, como decimos, y sobre todo Júpiter y Saturno, presentan este achatamiento debido al movimiento de rotación.

* Esta fuerza centrífuga de que hemos hablado es la que sostiene la piedra en la honda y el agua en el vaso que se hace girar rápidamente con el brazo ó en un aro; si la Tierra gira, ha de desarrollar esta fuerza centrífuga, que será tanto más considerable cuanto mayor sea la distancia que medie del punto que se considere al eje de rotación, de suerte que será nula en los polos y máxima en el ecuador. Supongamos que se suspenda una plomada en la cúspide de una torre y que se procure que la pesa llegue cerca de la superficie del suelo; la dirección

y á nuestro arbitrio; y para penitencia saludable te imponemos que durante tres años digas una vez por semana los siete salmos penitenciaros, reservándonos la facultad de moderar, cambiar ó levantar toda ó parte de dicha pena y penitencia.»

de la plomada depende de la acción de la gravedad que tiende hacia el centro de la Tierra, y de la fuerza centrífuga *medida al pie de la torre*; si del propio modo se suspende otra plomada, á muy escasa distancia de la anterior, también en la cúspide de la torre, y cuyo hilo sea muy corto, se observará que su dirección no es igual á la del primero, pues si bien sobre ambas plomadas obra de igual manera la fuerza de gravedad, no sucede lo mismo con la fuerza centrífuga, que es mayor en la cúspide de la torre que en la superficie del suelo por la razón que hemos expuesto antes; de suerte

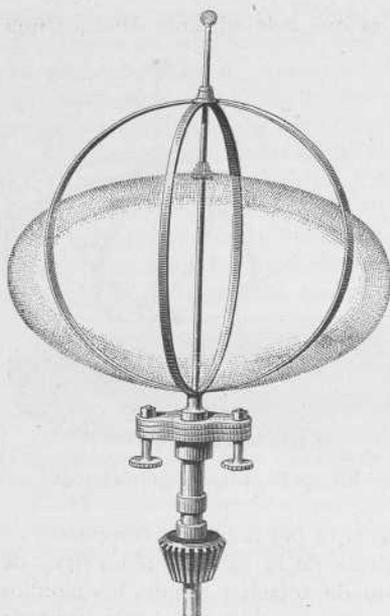


Fig. 80. — Explicación del aplanamiento del globo terrestre

que la pesa de la primera plomada se dirigirá algo más al Este que la de la segunda. Si por la dificultad que se ofrece en apreciar la falta de paralelismo de los hilos, se abandona libremente uno de los pesos desde lo alto de la torre, deberá caer al pie de la misma, según la dirección de la vertical, que es la de la gravedad A B, fig. 81; pero debido al movimiento terrestre, el cuerpo caerá algo más al Oriente; en efecto, en el momento en que el cuerpo principia á caer, está animado de una velocidad horizontal, que depende de la elevación de la torre; esta velocidad se combina durante el tiempo de la caída, con la que le comunica la gravedad, de suerte que, al mismo tiempo que recorre una distancia vertical igual á A B, avanza horizontalmente del Oeste al Este una longitud igual al arco AA' descrito por la parte superior de la torre durante el tiempo que el cuerpo ha empleado en llegar al suelo, luego caerá en un punto B'', situado á una distancia oriental de la posición primitiva del pie B, de la torre, igual á AA'. Pero el punto A dista más del centro de la Tierra que el punto B,

por lo tanto el arco AA' es mayor que el BB' por estar descrito con un radio mayor, y por consecuencia el punto BB'' se hallará situado al Oriente del punto B'.

El raciocinio indica, pues, que los cuerpos que caen libremente en el aire, tienen una desviación oriental muy difícil de comprobar experimentalmente, porque siendo en extremo pequeña, se confunde y perturba por las corrientes atmosféricas; por esta causa los experimentos se han llevado á cabo, con preferencia, en pozos de mina, que además de presentar una profundidad mayor que la que puede alcanzarse de lo alto de una torre al suelo, ofrecen la ventaja de que pueden evitarse las corrientes rápidas del aire. En Italia primero, y luego en Alemania, se han verificado estos estudios con gran escrupulosidad, dando un resultado bastante satisfactorio. En las minas de Freyberg, en un pozo de 158

metros de profundidad, halló Reich una desviación de $28^{\text{mm}},3$, indicando la teoría 27,6. Laplace demostró por el cálculo que la desviación debe ser en el ecuador de 22 milímetros para 100 metros de altura; en el ecuador alcanzan los cuerpos su desviación máxima, llegando á ser nula en los polos; pero lo que no resultaba ni de los cálculos de Laplace, ni de los de Gauss, que también se ocupó del asunto, era la desviación hacia el Sur que demostraron los experimentos, de suerte que, en definitiva, el cuerpo al caer sufre una desviación intermedia entre las dos indicadas, esto es, se dirige al Sudeste.

Se demuestra asimismo de una manera evidente y elegantísima la rotación de nuestro planeta por medio del péndulo y del giroscopio de Foucault (figs. 85 á 87).

Un péndulo viene á reducirse, en esencia, á un cuerpo pesado suspendido en el extremo inferior de un hilo fijo por el otro extremo, de suerte que puede separarse de la posición vertical que, como la plomada, ocupa en su estado de equilibrio, y moverlo en todos sentidos; si separamos la bola de la posición que tiene en reposo y la abandonamos libremente, empezará á oscilar en el plano vertical determinado por la dirección del hilo y la de nuestra mano. La posición de este plano es invariable, lo cual se demuestra experimentalmente, pues si durante las oscilaciones se transporta el aparato en el espacio, el plano vertical de las oscilaciones permanece siempre paralelo á sí mismo, ó lo que es igual, se dirige constantemente á los mismos puntos del cielo. Nótese bien que no decimos á los mismos puntos del suelo, porque en este caso hay variaciones, que son precisamente las que nos van á demostrar el movimiento de rotación de la Tierra.

Los académicos del Cimento de Florencia hicieron sobre el péndulo muchas y muy variadas observaciones, siendo los primeros en notar que no oscilaba siempre en una misma dirección, sino que el plano del movimiento variaba de un modo constante de la derecha á la izquierda de las partes anteriores; estas variaciones del péndulo se deben al movimiento de rotación de nuestro globo, sin que pudiesen imaginar los académicos florentinos cuál era la causa que producía estos cambios. El mérito de Foucault estriba en haber demostrado con toda evidencia la relación precisa y necesaria entre ambos movimientos, el de las variaciones del plano de oscilación y el de la Tierra.

El experimento preliminar que debemos llevar á cabo consiste en hacer oscilar un péndulo pequeño (fig. 82) en la dirección C D, por ejemplo, perpendicular á la línea A B; luego, mientras sigue oscilando, se hace girar el aparato

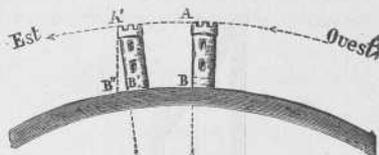


Fig. 81. — Desviación oriental de un cuerpo abandonado libremente

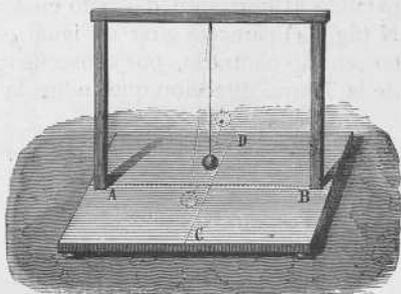


Fig. 82. — Demostración experimental de la desviación del péndulo

poco á poco sobre sí mismo, hasta darle la posición que indica la fig. 83; la dirección C' D' del plano de oscilación será exactamente la misma que la del plano ideal C D, si se enfila ó marca con los muros de la habitación ó cualquiera otro punto *fuera* del aparato. Tan sólo en la peana A B parecerá que el plano

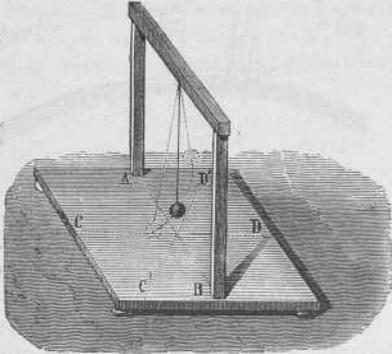


Fig. 83. — Desviación del plano de oscilación del péndulo

de oscilación se ha desviado en sentido contrario al de la rotación que se ha impreso al aparato, y si no se tuviese conciencia de este movimiento, claro está que la desviación parecería real. Este es el principio ó base científica del experimento magistral realizado por Foucault en la cúpula del Panteón de París y repetido después en varias partes, aunque sin tanta solemnidad.

Supongamos que un péndulo formado de una bola pesada sujeta al extremo de un hilo de extraordinaria longitud se suspende á una gran altura en uno de los polos de la Tierra; puesto en movimiento el péndulo, y siendo invariable el plano de sus oscilaciones, si coincide, por ejemplo, con la línea vertical de una estrella, la coincidencia se prolongará indefinidamente; como el movimiento diurno hace describir á la estrella un círculo paralelo al horizonte del polo en veinticuatro horas, el plano de oscilación M N (fig. 84) parecerá girar en igual período de tiempo alrededor de la vertical, en sentido contrario, por consecuencia, del verdadero movimiento de rotación de la Tierra, dirección que indica la flecha en la figura.

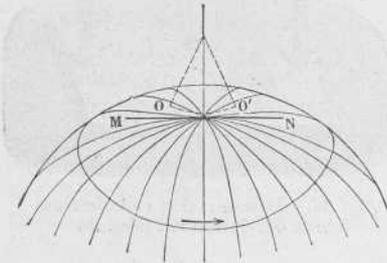


Fig. 84. — Desviación aparente del plano de oscilación del péndulo en el polo

Si suspendemos el péndulo en el ecuador, no habrá desviación, pues en este punto del globo, si se enfila, por ejemplo, el plano de las oscilaciones con la línea Norte Sur, como ésta es siempre paralela al eje de rotación, el ángulo que forma en el plano de oscilación, que de por sí es invariable, permanece constante. En todos los lugares intermedios entre los polos y el ecuador, se manifiesta la invariabilidad del plano de oscilación por una desviación en sentido contrario al del movimiento de la Tierra, pero menor que la desviación en los polos. Debemos advertir que estos fenómenos tienen lugar en ambos polos y en ambos hemisferios, si bien el plano de oscilación parece girar en sentido contrario, es decir, que el movimiento aparente del plano de oscilación se efectúa de izquierda á derecha en el polo boreal y de derecha á izquierda en el austral.

El cálculo demuestra que el tiempo invertido por el péndulo en dirigirse sucesivamente á todos los puntos del horizonte es superior á 24 horas en el polo,

llegando á alcanzar 48^{h} á la latitud de 30° , y siendo nulo, como hemos dicho, en el ecuador; haciendo abstracción, por supuesto, de la resistencia y rozamiento del aire.

Foucault colgó su péndulo de la media naranja del Panteón; el aparato se componía de una placa metálica embutida en las piedras de la bóveda, que sustentaba un alambre de acero, de tal modo que no tuviera propensión para torcerse ó girar en un plano mejor que en otro (fig. 85); en el extremo inferior llevaba una bola de plomo forrada de cobre, de mucho peso, con una punta de acero en la prolongación del hilo de suspensión. Debajo del péndulo colocóse una mesa con un círculo dividido en grados, ó una galería como se representa en la figura, también dividida, en cuyo borde se dispusieron dos montecitos de arena en las dos extremidades de un diámetro. Es indispensable que, al hacer oscilar el péndulo, no se le comunique ninguna velocidad inicial; para esto, se aparta la bola de la vertical sujetándola en una desviación conveniente, por medio de un hilo que se pasa por el ecuador y se afianza en un objeto fijo; después que la bola está en perfecto reposo, se quema el hilo con la llama de una bujía, é inmediatamente comienza á oscilar el péndulo, cuya punta inferior va poco á poco mordiendo ó derribando los

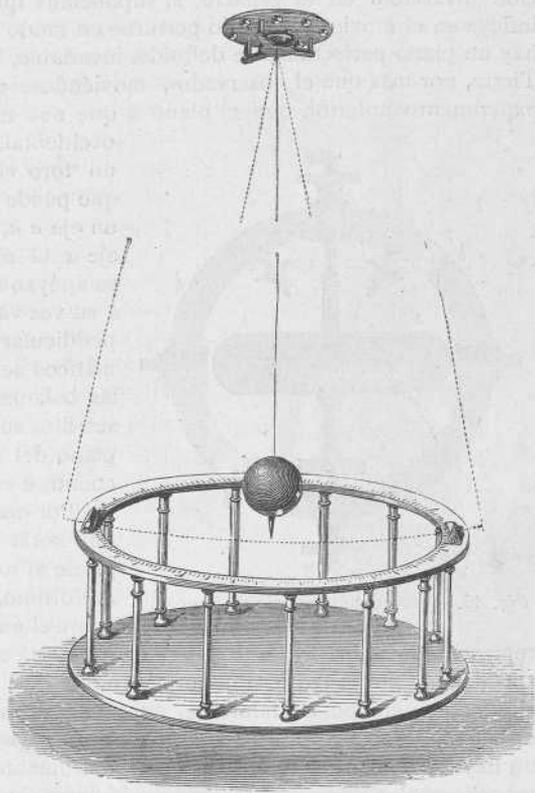


Fig. 85. — Péndulo de Foucault para demostrar el movimiento de rotación de la Tierra

montoncillos de arena, de modo que se manifiesta á la vista la desviación que sufre el plano de las oscilaciones de oriente á occidente. El movimiento que se observa en este experimento es aparente, como hemos dicho varias veces, pues en realidad el plano de oscilación permanece inmóvil, siendo la Tierra la que gira debajo, de occidente á oriente.

No bastó al genio del ilustre físico francés el experimento anterior para demostrar el movimiento de rotación de la Tierra, y en el mes de septiembre de 1852 presentó á la Academia de Ciencias de París una Memoria con la des-

cripción de un nuevo aparato llamado giroscopio, encaminado también á demostrar que nuestro planeta gira. El nuevo instrumento estaba fundado en otra propiedad de los cuerpos en movimiento y se diferencia completamente del principio del péndulo de un hilo.

Cuando un cuerpo gira alrededor de un eje que pasa por su centro de simetría, el plano en que ejecuta este movimiento de rotación conserva una dirección invariable en el espacio, si suponemos que la acción de la gravedad no influya en el movimiento ni lo perturbe en modo alguno. En este aparato, pues, hay un plano perfectamente definido, invariable, bajo el cual gira en realidad la Tierra, por más que el observador, moviéndose con ésta, cree ver, como en el experimento anterior, que el plano á que nos referimos se mueve en sentido

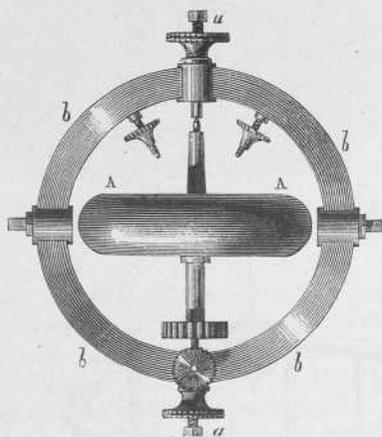


Fig. 86. — Toro del giroscopio de Foucault

occidental. El giroscopio se compone de un toro circular de bronce, AA, fig. 86, que puede girar libremente alrededor de un eje *a a*, que pasa por su centro. Este eje está sostenido por dos centros que se apoyan en un anillo ó círculo *b b*, que á su vez va provisto, en un diámetro perpendicular al eje, de dos cuchillos prismáticos semejantes á los que se usan en las balanzas, de tal modo colocados, que sus filos se dirijan hacia abajo, cuando el plano del anillo y el eje del toro se encuentren en posición horizontal.

Por medio de un aparato particular que sería ocioso describir aquí, se imprime al toro un movimiento de rotación rapidísimo, colocándolo en esta situación sobre el anillo vertical BB' de la máquina representada en la figura 87; y este anillo está suspendido de un hilo de seda sin torsión, por la parte superior, de modo que puede oscilar libremente á su alrededor, pero no lateralmente, pues para evitarlo lleva por abajo una punta de acero, que se apoya en una especie de capsulita bastante ancha, para que no haya rozamiento. Bien nivelado el instrumento, para lo cual lleva unos pesos adicionales que no se marcan en la figura, la fuerza de gravedad no ejerce atracción ninguna sobre el conjunto del aparato, como para hacerle cambiar la dirección de su movimiento; por consiguiente, el plano de rotación del toro se conserva en la posición en que se le coloque.

Veamos qué nos enseña el aparato así dispuesto. Si la Tierra está fija, el plano del toro permanecerá invariable, como en efecto así se conserva; pero si la Tierra gira, se mueve con ella el plano del horizonte de Occidente á Oriente y la invariabilidad del plano de rotación del toro se demostrará por la desviación aparente del mismo plano, que es, en efecto, lo que confirma el experimento. El movimiento de rotación de la Tierra se demuestra, pues, de un modo sensible por medio de un instrumento de pequeñas dimensiones y de fácil transporte, y á menos de negar la evidencia, nadie puede poner en duda, hoy

día, el movimiento de la Tierra, demostrado por tantas y tan sólidas pruebas astronómicas y físicas.

Antes de proseguir el estudio de nuestro planeta, se hace necesario dar la explicación científica de algunos términos que nos hemos visto obligados á usar y cuya significación, sin embargo, se halla al alcance de todos; al mismo tiempo definiremos otras voces nuevas, que nos va á ser preciso emplear muy en breve.

Se llama horizonte al plano perpendicular á la vertical que pase por el lugar que se considere; es tangente á la esfera terrestre, y su límite es la línea circular que en la apariencia corta la bóveda celeste. En todo horizonte terrestre, cualquiera que sea el paraje del globo en que lo situemos, se considera una línea llamada vertical, que se determina por la dirección que toma un hilo flexible (fig. 88), en cuyo extremo inferior se suspende un cuerpo pesado, mientras que el extremo superior se afianza en alguna parte; viene á ser la plomada que usan los ingenieros, arquitectos, etc. La vertical es perpendicular á la superficie de un líquido tranquilo, como indica el grabado, en que el líquido que se representa es mercurio ó azogue. Si suponemos que el hilo de la plomada se prolonga hacia arriba indefinidamente, ó sea por la parte superior del plano del horizonte, hasta la bóveda celeste, el lugar en que parezca tocarla se llama *cenit*, voz árabe que significa «el punto.» Como ya sabemos que el cielo rodea á la Tierra por todas partes, podemos afirmar que, si prolongamos el hilo indefinidamente hacia abajo, también llegará en la apariencia á la bóveda celeste, llamándose *nadir*, del árabe, «el opuesto,» el lugar en que la encuentra.

Si se supone que un plano paralelo al horizonte sensible pase por el centro de la Tierra, separará á estos dos planos el radio terrestre, que por grande que parezca á nuestros sentidos, viene á ser nulo con respecto á las distancias de los astros, de suerte que la intersección del horizonte sensible con la esfera celeste coincide en realidad con el horizonte geocéntrico del lugar; por esta razón, en astronomía, se confunden estos dos planos y se les da el nombre común de horizonte racional.

Sabemos también que un círculo se supone en geometría dividido en 360° , y como sobre nuestro horizonte sólo podemos descubrir la mitad de un círculo en sentido vertical, el cenit, que está en el centro del hemisferio cóncavo, dista 90° de todos los puntos del horizonte, que suponemos perfectamente plano y circular; luego no puede servirnos para determinar su situación toda vez que dista

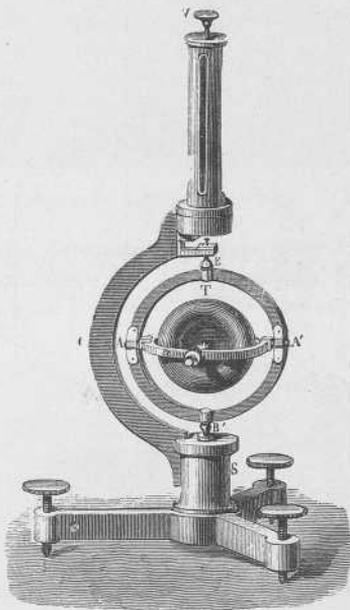


Fig. 87. - Giroscopio de Foucault

de todos una misma cantidad. Para determinar la situación de los puntos más importantes del horizonte en un lugar cualquiera de la Tierra, para que sirvan de orientación y guía al viajero, y para observaciones científicas de toda especie, hay que recurrir al fenómeno del movimiento diurno; según la época del año, varía la posición que el Sol ocupa á su salida ú orto, por el horizonte oriental, y otro tanto sucede con el punto por donde se pone ú oculta, cambiando, asimis-

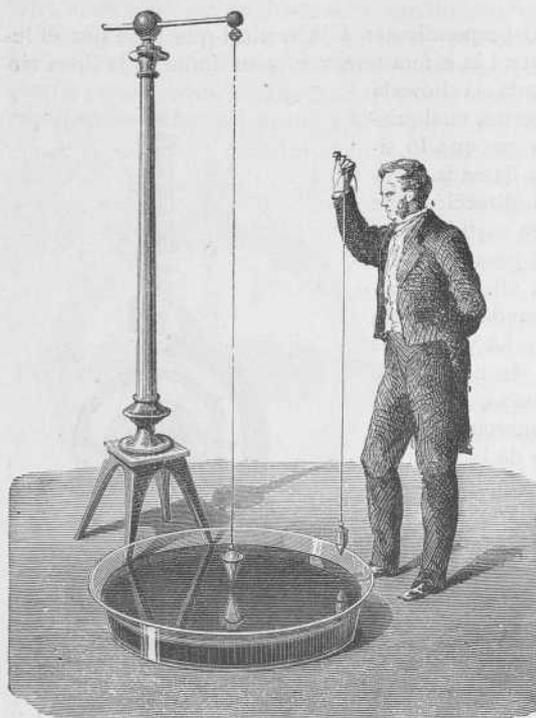


Fig. 88. — La dirección de la gravedad es perpendicular á la superficie de un líquido tranquilo

nuestra izquierda el Oeste, Poniente ú Ocaso, en los puntos del horizonte en que termine esta línea imaginaria. Dos veces al año, al principiar la primavera y el otoño, sale el Sol exactamente por el Este y se pone por el Oeste, no sucediendo lo mismo ni antes ni después, pues en el curso de las estaciones de primavera y verano los sitios de la salida y postura de Sol se aproximan al Norte, y en invierno y otoño sale este astro por puntos más inmediatos al Sur.

El Norte, el Sur, el Este y el Oeste se llaman en astronomía y en geografía los cuatro *puntos cardinales*.

Con estas ideas que acabamos de adquirir nos será fácil comprender el movimiento diurno ó de los cielos en distintos horizontes. En el polo, por ejemplo, el cenit y el Norte se confundirán en un solo punto, que estará situado

mo, su altura máxima sobre el horizonte; pero, sin embargo, es casi invariable, en su movimiento cotidiano, la dirección del plano vertical en que el Sol se encuentra en mitad del día, en el instante de su mayor elevación; el lado hacia donde el Sol se encuentra entonces, se llama Sur ó Mediodía, y el opuesto, Norte ó Septentrión; el plano vertical en que se encuentra el Sol en el punto más alto de su carrera, ha recibido el nombre de *plano meridiano* ó simplemente el de *meridiano*, y la intersección de este plano con el del horizonte se llama meridiana, que viene á ser la línea Norte-Sur.

Si trazamos ahora en el plano del horizonte una línea que corte á la meridiana en ángulo recto, y nos volvemos hacia el Norte, tendremos á nuestra derecha el Este, Levante ú Oriente y á

sobre nuestras cabezas; no tendremos Este ni Oeste, pues los astros describirán círculos paralelos al horizonte (figura 89) en que nos encontramos, sin que las estrellas salgan ni se pongan jamás, siendo constantemente invisible la mitad de la esfera celeste.

En el ecuador, los arcos diurnos descritos por las estrellas son semicírculos perpendiculares al horizonte, y la esfera estrellada (fig. 90), completa, sale y se pone en el intervalo de un día.

Todos los puntos de la Tierra tienen sus *antípodas*, voz formada de dos palabras griegas que significan, «pies opuestos;» en los antípodos, el horizonte es paralelo al nuestro; pero las verticales se dirigen en sentido contrario; por lo que manifestamos en el párrafo anterior, se comprenderá que los habitantes de nuestros antípodos parecerán tener, respecto de nosotros, los pies hacia arriba y la cabeza hacia abajo. El centro común de atracción C (fig. 91) obra sobre unos y otros de igual manera y retiene los cuerpos en la superficie por su mismo peso.

Siendo la vertical perpendicular á la superficie de las aguas tranquilas, si suponemos que el Océano permaneciese en reposo, siquiera por breves instantes, como rodea á la Tierra por todas partes y la Tierra es esférica, claro es que las diversas verticales que imaginemos van todas á parar al centro de nuestro globo; la figura 91 enseña la posición relativa de algunas verticales C Z, C Z', C Z''; vemos, pues, que forman entre sí ángulos de todos valores, siendo éstos iguales á la distancia angular que medie entre los dos puntos considerados.

Si imaginamos que por el centro de la Tierra pase un plano perpendicular al eje, y que corte al globo en dos partes iguales ó hemisferios, formará este

plano en la superficie terrestre un círculo máximo E E' que se llama ecuador (fig. 92). P es el polo Norte, y el hemisferio en que se encuentra toma el mismo nombre; el hemisferio inferior, donde está situado el polo austral, se conoce asimismo por el nombre de su polo.

Los círculos que se ven trazados en la superficie de la Tierra, paralelos al ecuador, se llaman *paralelos* ó círculos de latitud, y se comprende que el ecuador es el paralelo mayor ó máximo, y que los radios de los demás círculos dis-

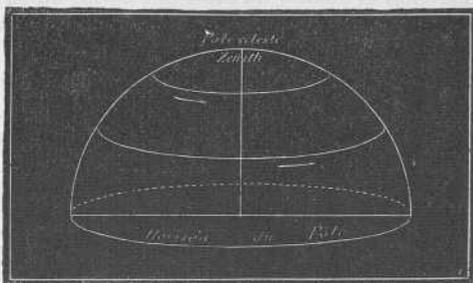


Fig. 89. - Movimiento diurno en los polos

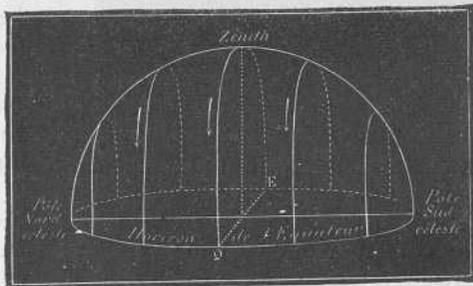


Fig. 90. - Movimiento diurno en el ecuador

minuyen á medida que las distancias á que se encuentran de uno ú otro polo se acortan.

Un plano que pase por el eje de la Tierra la divide también en dos partes iguales, según una línea que podemos considerar como sensiblemente circular; este plano se llama meridiano, porque el Sol se encuentra en él en la mitad del día. Con el auxilio de estas dos clases de círculos, meridianos y paralelos, se determina la posición de cualquier lugar en la superficie del globo; para esto se toma como punto de partida un meridiano conocido, variable según las naciones; en España se usan dos nada menos, el de Madrid para los mapas terrestres y el de San Fernando para los mapas ó cartas hidrográficas; los franceses usan el que pasa por París, y los ingleses, americanos, y casi todos los países europeos, el de Greenwich, pueblo próximo á Londres. El ángulo que forman entre sí, el

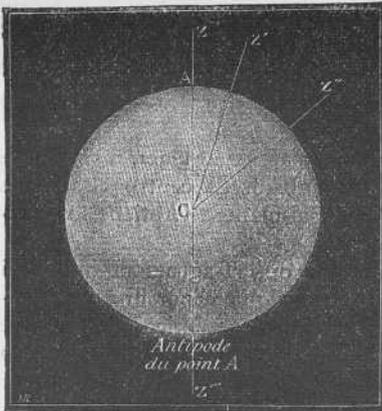


Fig. 91. — Antípodas

meridiano de origen y el que pase por el punto que consideremos, se llama longitud, y para evaluarla se divide el ecuador en grados, minutos y segundos (véase la fig. 92), que se cuentan á partir de o del primer meridiano, bien hacia Oriente ó hacia Occidente, denominándose respectivamente la longitud oriental ú occidental; es evidente que todos los puntos de la Tierra situados en una misma mitad de meridiano, aunque estén en distintos hemisferios, tienen igual longitud.

Para concluir de determinar la posición del lugar, se cuenta el número de grados, minutos y segundos, comprendidos sobre el meridiano, entre el lugar propuesto y el ecuador, dándose á este ángulo el nombre de latitud; las latitud

des se cuentan desde 0° en el ecuador hasta 90° en los polos, y se denominan australes ó boreales, según el hemisferio en que se halla situado el lugar; es evidente, también, que todos los puntos situados en un mismo paralelo tienen igual latitud.

Por medio de estas coordenadas geográficas podemos determinar la posición exacta de un punto cualquiera de la superficie de la Tierra; á su tiempo presentaremos á nuestros lectores los métodos que emplean los astrónomos y geógrafos para calcular la longitud y la latitud; pero debemos advertir que hay una gran diferencia entre las coordenadas terrestres y las celestes, y que aun cuando se expresan del mismo modo, no deben confundirse, pues tienen una significación muy distinta.

Aunque los círculos que podemos suponer trazados paralelos al ecuador son infinitos, se distinguen, empero, algunos particulares, cuya posición está íntimamente ligada, según veremos más adelante, con los movimientos de rotación y de traslación y con la posición aparente del Sol en las distintas épocas del año. Los principales son: los dos círculos polares que pasan por los lugares de la

Tierra cuya latitud, boreal ó austral, es de $66^{\circ} 33'$. El círculo polar boreal se llama ordinariamente círculo polar ártico, y el opuesto, círculo polar antártico; voces derivadas de dos palabras griegas que significan *osa* y *opuesto á la osa*.

Los dos trópicos, cuya distancia al ecuador es precisamente igual á la distancia de los círculos polares á los polos, pasan por los lugares de la Tierra que tienen de latitud $23^{\circ} 27'$, boreal ó austral; el primero se llama trópico de Cáncer, y de Capricornio el segundo (fig. 93); los trópicos y los círculos polares dividen la superficie del globo terrestre en cinco zonas cuyos nombres indican la temperatura habitual de los lugares que comprenden; la zona tórrida se halla situada entre ambos trópicos y dividida por mitad por el ecuador; las dos zonas templadas entre cada trópico y el círculo polar del mismo hemisferio, y por último, las dos zonas glaciales son los casquetes esféricos comprendidos dentro de los círculos polares.

Si la Tierra fuese rigurosamente esférica, ó si al menos fuese ésta la forma del globo que se obtuviese extendiendo por los continentes las aguas del mar, todos los círculos máximos trazados en su superficie tendrían exactamente el mismo tamaño. En este caso, dar una vuelta á la Tierra siguiendo un meridiano cualquiera y pasando por ambos polos, ó bien caminar en la dirección del ecuador cortando todos los meridianos, hasta volver al punto de partida, sería recorrer distancias exactamente iguales. ¿Sucede así, en realidad? O, en otros términos, ¿la forma de la

Tierra es efectivamente la de una esfera, abstracción hecha de las rugosidades y asperezas de su suelo? Todas las pruebas que hemos dado de su redondez son insuficientes para resolver este importante problema; así que, cuando se supo que la forma del globo que habitamos era sensiblemente esférica, trataron los astrónomos de determinar con más precisión su figura verdadera y exacta, lo

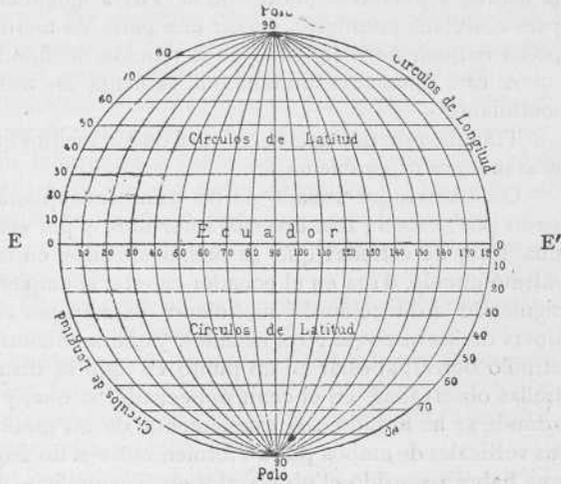


Fig. 92. - Coordenadas terrestres. Longitudes y latitudes

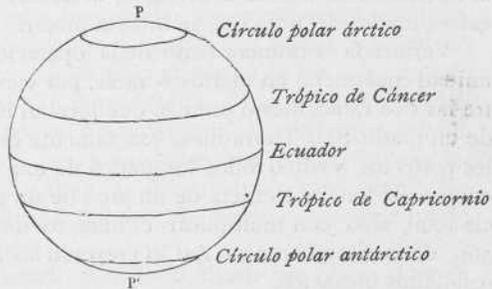


Fig. 93. - Zonas terrestres

cual había de conseguirse, conociendo la forma y las dimensiones de un meridiano ó de un paralelo cualquiera.

Sería imposible tratar de medir directamente un meridiano completo, puesto que esta curva pasa por los polos, donde jamás ha podido el hombre sentar la planta, y por otros puntos de la Tierra igualmente inaccesibles; pero basta, para el objeto propuesto, medir una parte de meridiano, bastante grande, para poder deducir de la longitud de la porción medida la longitud total.

A esta operación fundamental se llama en astronomía medir un arco de meridiano.

Tratemos de dar una ligera idea de los medios que se emplean para resolver este interesante problema.

Un observador situado en un punto cualquiera del ecuador terrestre verá pasar por su cenit, con diversos intervalos, y por efecto del movimiento diurno, una serie de estrellas que se hallan situadas en la prolongación ideal de este mismo círculo, ó sea en el ecuador celeste; si empieza á caminar hacia el Norte, siguiendo la dirección del meridiano, pasarán por su cenit nuevas estrellas, distintas de las que veía en el ecuador, y que se encontrarán cada vez más próximas al polo boreal; al estar en un punto en que la distancia angular de las dos estrellas observadas, en el cenit del ecuador la una, y la otra en el cenit del lugar adonde se ha llegado, sea exactamente de un grado, ó lo que es igual, cuando las verticales de ambos puntos formen entre sí un ángulo de un grado, el camino que habrá recorrido el observador en la superficie de la Tierra, y á lo largo del meridiano, será asimismo de un grado. Si el observador continúa su camino hacia el Norte, recorrerá sucesivamente arcos de meridiano de 2, 3, 4 y más grados; parece excusado advertir que sólo por mayor claridad hemos supuesto que la medición empezará á contarse desde el ecuador, pues en cualquiera otro punto del globo se obtendrían resultados equivalentes; tampoco es indispensable considerar las estrellas que pasen por el cenit, pues, como veremos á su tiempo, la operación se reduce á averiguar la latitud de los dos puntos situados en las extremidades del arco que se intenta medir.

Verificada la primera parte de la operación, queda aún que medir con una unidad cualquiera, en metros ó varas, por ejemplo, la distancia real que hay entre las dos estaciones ó puntos, que forman los extremos del arco de meridiano de un grado. Si la Tierra fuese exactamente esférica, los meridianos serían círculos perfectos, y como todos los grados de una circunferencia son iguales, bastaría conocer la longitud exacta de un arco de un grado, para deducir la circunferencia total, sólo con multiplicar el número de metros que medía el arco por los 360° de la circunferencia. Así lo creyeron los antiguos, obteniendo, por lo tanto, resultados inexactos.

Eratóstenes, astrónomo que floreció en tiempo de los Ptolemeos, parece haber sido el primero que comprendió que el cambio del cenit, al pasar de un punto á otro, está en relación con la distancia que separe á estos mismos puntos en la superficie de la Tierra; en Egipto, á lo largo del Nilo, entre Siena y Alejandría, trató Eratóstenes de medir un arco de meridiano, suponiendo que una de las ciudades escogidas se hallaba situada, precisamente, bajo el trópico de Cáncer; calculó que la circunferencia de la Tierra sería de 250,000 estadios ó

sean unos 45 millones de metros, resultado en extremo erróneo, pues ni los dos lugares estaban situados en un mismo meridiano, ni los arcos celestes ni terrestres fueron medidos con suficiente exactitud.

Dos siglos después hizo Posidonio otra tentativa entre Alejandría y Rodas; la brillante estrella Cánope rasaba el horizonte de este último lugar, alcanzando en Alejandría una altura de $7\frac{1}{2}^{\circ}$. En este caso también se cometieron errores, pues por la dirección tomada al cruzar el mar se estimó la distancia, sin medirla. Ptolomeo repitió la operación, pero no obtuvo mejor resultado. El califa Al-Mamún hizo medir á sus matemáticos y astrónomos, en las llanuras de Shinar, á orillas del mar Rojo, la distancia que separaba dos lugares cuya diferencia de latitud era de un grado, según determinaron valiéndose de un astrolabio; la distancia entre las dos estaciones era de 200,000 codos ashemitas, y la circunferencia de la Tierra, según esta medición, resultaba de unas 11,000 leguas métricas. Este mismo príncipe árabe mandó medir otro arco de meridiano en las inmediaciones de Cufa, en la Mesopotamia.

Como la esfericidad de la Tierra no era en esos tiempos sino una hipótesis, para comprobarla fué preciso seguir una marcha inversa y decir: si el arco de meridiano pertenece á una circunferencia de círculo, las dimensiones de los grados sucesivos deben ser iguales. Lo contrario es lo que se ha observado, como veremos, luego el meridiano no tiene la forma de una circunferencia de círculo, y el globo terrestre, por lo tanto, no es esférico.

En el siglo xvii, el médico francés Fernel trató de medir, con mayor exactitud que la empleada por los antiguos, el arco de meridiano, comprendido entre París y Amiéns; con tal objeto colocó un aparato contador en el eje de una de las ruedas de su carruaje, cuya circunferencia conocía, y del número total de vueltas que dió, dedujo que la longitud de un grado era de 57,070 toesas, que equivalen á 111,000 metros. Posteriormente Snell, empleando el mismo método que hoy se usa, midió otro arco de meridiano; el método consiste, en pocas palabras, en medir con la mayor escrupulosidad en un terreno escogido, bien llano y firme, una línea recta que se llama *base*; desde los extremos de esta base, y por medio de instrumentos adecuados, se levantan dos líneas horizontales que se crucen, y quedará formado un primer triángulo; uno de los lados de éste sirve de base para los demás que se van construyendo en la dirección del meridiano, todos apoyados y encadenados en los anteriores, de suerte que sus elementos sean perfectamente conocidos; por todos ellos pasa la meridiana, y las porciones que corresponden á cada triángulo se determinan por el cálculo, llegando á saber, al cabo, la longitud total del arco de meridiano comprendido entre los dos puntos de su terminación.

Picard, en Francia, repitió, empleando el método ideado por Snell, la medición de Fernel entre Amiéns y París, hallando como longitud del grado 57,060 toesas, esto es, 10 toesas menos que el médico francés. Posteriormente se verificaron numerosas mediciones en distintos puntos del globo, siendo muy notable la expedición que organizó la Academia de Ciencias de París con objeto de determinar la longitud del grado en diversas latitudes y hemisferios; á la Laponia se dirigieron, en 1736, Maupertuis, Clairaut y otros, que hallaron como longitud del arco de un grado 57,419 toesas ó 111,095 metros. Al Perú, en el he-

misferio austral, se encaminaron Godín, Bouguer y La Condamine, siendo auxiliados en sus trabajos por los famosos oficiales de marina españoles D. Jorge Juan y D. Antonio de Ulloa, ambos capitanes de fragata, los cuales publicaron el resultado de sus observaciones en un volumen impreso en Madrid en 1748; el grado medido en el Perú por Ulloa y su compañero alcanzó una longitud de 56,767 toesas, que equivalen á metros 110,639. Lacaille midió otro grado en 1752 en el cabo de Buena Esperanza, encontrándolo de 57,037 toesas, que son 111,116 metros. En la India inglesa obtuvo el coronel Lambton en 1803 como longitud del grado 110,630 metros; algunos años después, también en la India, se midió un arco de meridiano de extensión considerable, que dió como valor del grado 110,652 metros. En tiempo de la invasión francesa se hallaban en España Biot y Arago continuando la medida del arco de meridiano que partía de Dunkerque, medida que efectuaron en medio de los mayores peligros y dificultades.

Como vamos viendo, la longitud de un arco de un grado no es igual en todos los puntos de la Tierra, luego ésta no puede ser rigurosamente esférica; por otra parte, la magnitud de los grados crece constantemente del ecuador á los polos según demuestra el cuadro que sigue, comprensivo de la longitud de un grado en distintos puntos de la meridiana medida del Observatorio de Greenwich hasta la isla de Formentera en las Baleares.

| NOMBRE DE LOS ARCOS | LATITUDES MEDIAS | LONGITUD DEL ARCO DE UN GRADO EN METROS |
|--------------------------------|------------------|---|
| Formentera á Monjuich. | 40° 0' 49" | 111.008 |
| Monjuich á Carcasona | 42 17 20 | 111.018 |
| Carcasona á Evaux | 44 41 48 | 111.050 |
| Evaux á París | 47 30 46 | 111.250 |
| París á Dunkerque. | 49 56 29 | 111.266 |
| Dunkerque á Greenwich. | 51 15 24 | 111.285 |

La longitud del arco de un grado de meridiano aumenta, como muestra esta tabla, de un modo constante, desde los 40° de latitud hasta los 51°, variación que continúa aún fuera de estos límites, como lo indica el cuadro siguiente, que resume los resultados de las triangulaciones efectuadas en toda la extensión de un hemisferio.

| PAISES | LATITUDES MEDIAS | LONGITUD DEL ARCO DE UN GRADO EN METROS |
|---------------------------|------------------|---|
| Laponia. | 66° 20' 10" | 111.477 |
| Rusia. | 56 24 55 | 111.360 |
| Inglaterra. | 52 2 20 | 111.224 |
| Francia y España. | 46 8 6 | 111.143 |
| India. | 22 36 32 | 110.668 |
| Bengala. | 12 32 21 | 110.631 |
| Perú | 1 31 1 | 110.582 |

Se demuestra, pues, que la Tierra no es precisamente esférica, sino que se halla achatada hacia los polos y ensanchada por el ecuador, toda vez que el tamaño del arco de un grado crece con la latitud, de suerte que los meridianos, en vez de ser circunferencias de círculo, son curvas que se aproximan mucho á la forma de una elipse según se ve en la fig. 94, cuyas proporciones son, sin embargo, muy exageradas.

Pero ¿podemos asegurar que la forma del elipsoide terrestre sea regular y perfecta, esto es, la engendrada por un sólido de revolución? Si así fuese, los arcos de un grado medidos en un mismo paralelo de latitud, deberían tener el

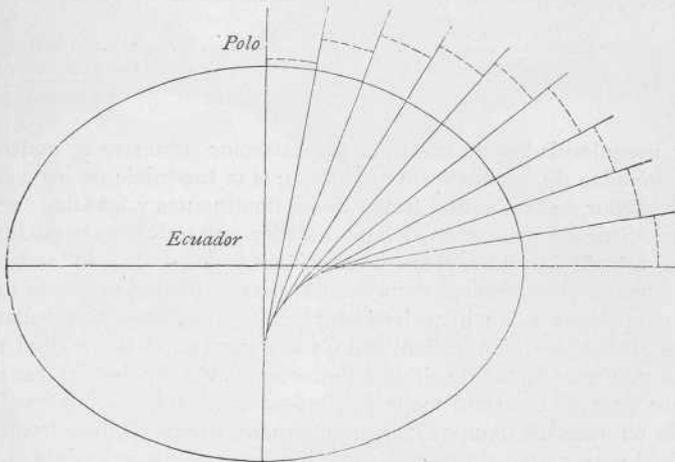


Fig. 94. — Forma elíptica de los meridianos terrestres

mismo tamaño ó magnitud en todos los meridianos, lo cual, sin embargo, no sucede. Si se comparan, por ejemplo, las medidas del arco de Hannóver entre Goetinga y Altona, y el arco de Inglaterra entre Bleinheim y Clifton, se encuentra:

| | Latitudes medias | Longitud del arco de un grado en metros |
|------------|---------------------------|--|
| Hannóver | $52^{\circ} - 32' - 16''$ | 111,343 |
| Inglaterra | $52 - 38 - 59$ | 111,224 |

Comparando los arcos de Dinamarca entre Lavenburgo y Lyssabbel y de Prusia entre Trunz y Memel, se tiene

| | Latitudes medias | Longitud del arco de un grado en metros |
|-----------|--------------------------|--|
| Dinamarca | $54^{\circ} - 8' - 13''$ | 111,277 |
| Prusia | $54 - 58 - 26$ | 111,376 |

El arco meridiano de Dinamarca debería ser mayor que el de Hannóver y la medida directa ha dado un valor más pequeño; por otra parte, las variaciones que presentan estos cuatro arcos, comparados dos á dos, son de sentido contrario. No puede, por lo tanto, decirse que la Tierra presenta regularmente la forma de un sólido de revolución, ni que los meridianos sean rigurosamente iguales entre sí.

En los países montañosos suelen presentar las triangulaciones diferencias considerables que dependen de la atracción universal; así, por ejemplo, en Italia, en las inmediaciones de los Alpes, los geómetras Plana y Carlini hallaron como longitud del arco de un grado á una latitud media de $44^{\circ} 27' 29''$:

| | |
|------------------------------|----------------|
| Longitud calculada | 111,120 metros |
| » observada | 112,434 » |
| Diferencia | 1,314 metros |

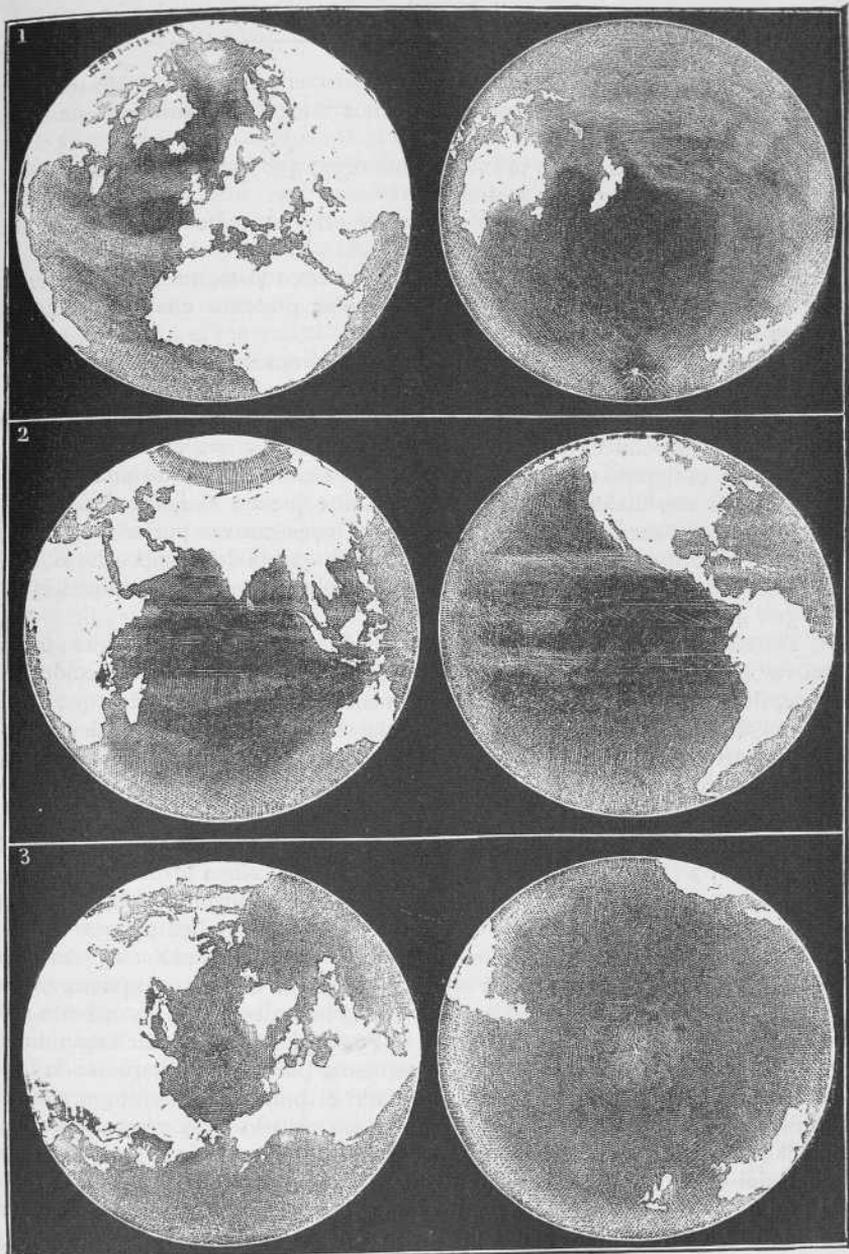
Ni las irregularidades de la forma del esferoide terrestre se contraen tan sólo á las medidas de los arcos de meridiano; si la superficie de los mares prolongada alrededor de la Tierra á través de los continentes y las islas, fuese exactamente un sólido de revolución, debería suceder que todos los paralelos correspondientes á cada latitud representasen círculos perfectos; sin embargo, las diversas operaciones geodésicas emprendidas para la medición directa del grado en varios paralelos, revelan irregularidades semejantes á las que resultan de las mediciones de las meridianas. Santiago Cassini determinó la longitud del arco de paralelo que se extiende de Brest á Estrasburgo, determinación que sirvió de fundamento para una carta ó mapa de Francia muy famosa. Esta medición se ha repetido en nuestros tiempos con gran esmero, prolongándose hasta Suiza y Alemania. El mayor arco de paralelo medido hasta el día se refiere al paralelo llamado medio, porque se halla situado en la latitud de 45° próximamente, y con toda exactitud en la de $44^{\circ} 16' 48''$. El extremo occidental de este arco se encuentra situado en las costas francesas del Océano, cerca de Burdeos, y su extremo por el lado opuesto termina en Austria en las inmediaciones de Fiume, ciudad de la Istria. El arco total tiene una amplitud de $15^{\circ} 32' 27''$ y una longitud de 1.210,673, que da para el arco medio de un grado 77.903 metros.

Las dimensiones que representan mejor la figura del elipsoide terrestre son:

| | |
|--------------------------|------------------|
| Semi-eje mayor | 6.377.398 metros |
| Semi-eje menor | 6.356.080 » |
| Diferencia | 21,318 metros |

La relación de la diferencia del eje mayor de la elipse con el menor es de $\frac{1}{29,913}$ ó en números redondos $\frac{1}{300}$ que es á lo que se llama achatamiento de la Tierra; si representamos á nuestro planeta por una esfera que tenga 1.000 milímetros de diámetro ecuatorial, habría que reducir el diámetro polar á $998^{\text{mm}}.33$, diferencia imperceptible á la simple vista, por cuya razón en todos los dibujos y modelos se representa á nuestro globo como una esfera perfecta, sin que por ello resulte inconveniente alguno sensible.

La elipse meridiana presenta un desarrollo total de más de 40.000.000 de



EL GLOBO TERRESTRE

DISTRIBUCIÓN DE LOS CONTINENTES Y LOS MARES

- 1.º Hemisferio terrestre y hemisferio marítimo; 2.º la Tierra vista desde un punto situado en el plano del Ecuador; 3.º la Tierra vista desde la prolongación de ambos polos

metros; debieran ser 40 millones exactos, pero en la medición efectuada por Méchain y Delambre se cometieron algunos errores que fueron descubiertos más tarde.

El radio ecuatorial mide próximamente 6.377.398 metros.

El radio polar 6.356.080 metros.

El radio medio entre el ecuador y los polos, ó lo que es lo mismo, el radio de la Tierra suponiéndola esférica, mide 6.366.786.

El ensanchamiento ecuatorial mide, como hemos visto, un espesor de 21.318 metros, ó en otros términos, el diámetro polar presenta una disminución de 42.636 metros.

Hasta ahora hemos considerado que el movimiento de la Tierra sobre su eje se efectúa precisamente en el intervalo de un día, lo cual dista mucho de ser exacto. Si se mide con la precisión que permite el empleo de los modernos instrumentos astronómicos y de los exactos cronómetros que en la actualidad se construyen, el tiempo transcurrido entre dos pasos sucesivos de una misma estrella por el meridiano de un lugar, hallaremos que no es igual al período de tiempo que emplea el Sol en pasar dos veces consecutivas por el mismo meridiano; en el primer caso obtenemos la duración exacta del tiempo que la Tierra ha necesitado para efectuar una revolución sobre su eje, siendo aquel igual á $23^{\text{h}} 56^{\text{m}} 4^{\text{s}}$, esto es, $3^{\text{m}} 56^{\text{s}}$ menos de 24^{h} .

Toda vez que la forma del planeta terrestre es la de una esfera que gira con una velocidad angular uniforme alrededor de una línea ideal de dirección invariable, deben resultar de semejante movimiento diversas velocidades, que corresponden á distintos puntos de su superficie; en las extremidades del eje de la Tierra, esto es, en los polos, la velocidad de la rotación es nula; desde aquí aumenta constantemente hasta el ecuador, donde alcanza su valor máximo, lo cual se comprende, pues siendo este círculo el mayor paralelo terrestre, claro es que su radio ha de ser también más considerable; en veinticuatro horas aproximadamente, y en $23^{\text{h}} 56^{\text{m}} 4^{\text{s}}$ con toda exactitud, describen un círculo completo todos los puntos situados en la superficie del globo, lo mismo los de la latitud de Madrid, Cádiz ó Barcelona, que los del ecuador ó los círculos polares.

La velocidad de la rotación es uniforme y común para todos los puntos del globo, y es muy fácil averiguar la rapidez con que se mueve cualquier punto de la superficie terrestre, sea en el ecuador ó en otra latitud; para esto, basta reducir á segundos las $23^{\text{h}} 53^{\text{m}} 4^{\text{s}}$, que son 86.164 segundos, y dividir este número, que expresa la duración de la rotación terrestre, por los metros que mida la circunferencia del paralelo, en que esté situado el punto propuesto; por ejemplo, para hallar la velocidad con que gira un punto situado en la misma línea equinoccial, dividiremos 40.070.376 metros, que son los que mide la circunferencia ecuatorial de la Tierra, por 86.164 y obtendremos 465 metros; esta es la velocidad de que están animados los puntos que se hallan precisamente en el ecuador; en Madrid, y en términos generales, en España, la velocidad angular es de 350 metros por segundo, en Islandia de 200 y en el polo nula.

Ya dimos las razones adecuadas para probar que del movimiento de rotación de la Tierra participa también la atmósfera que la rodea; si así no fuera, si los vapores y nubes que encierra permaneciesen inmóviles, mientras que el suelo y

todos los objetos situados en su superficie girasen con la velocidad que para Madrid hemos señalado, de 350 metros por segundo, resultaría en dirección de Este á Oeste, contraria al movimiento terrestre, un viento de igual velocidad, diez veces más impetuoso que los más terribles huracanes; los de las Antillas, y en general de los trópicos, rara vez alcanzan una velocidad superior á 40 metros por segundo, y aun así, arrancan de cuajo árboles seculares y derriban sólidos edificios. Esta velocidad, de que participan todos los puntos que se hallan en la superficie de la Tierra, y que crece progresivamente de los polos hacia el ecuador, daría lugar á la catástrofe más terrible y completa que pudiera imaginarse, si de pronto cesara el movimiento de rotación de nuestro globo; si este imposible se realizara, quedarían destruidos por completo todos los seres organizados, triturados por este terrible choque ó consumidos absolutamente. Un sabio alemán, Helmholtz, ha calculado que la fuerza de rotación de la Tierra convertida en calor por una detención ó parada repentina, bastaría para la combustión total de quince esferas de hulla del tamaño de nuestro globo. Este cálculo es muy á propósito para darnos una idea de la prodigiosa cantidad de movimiento que posee el globo terrestre, en virtud tan sólo de su rotación; la constancia y regularidad de las leyes de la naturaleza nos permiten confiar tranquilamente en que esta exactísima hipótesis jamás se convertirá en terrible realidad.

Dijimos anteriormente que la fuerza centrífuga desarrollada por el movimiento de rotación equilibraba la acción de la gravedad, disminuyendo por consecuencia su intensidad; en el ecuador esta disminución es tal, que un cuerpo que se transporta de los polos á esta línea, sufre ó experimenta en su peso una diferencia igual á $\frac{1}{289}$ de la fuerza ó peso con que todos los cuerpos, ya sólidos, ya líquidos, se precipitan hacia la Tierra. Esta es, pues, la fracción de su peso que debe perder el mar, por ejemplo, en el ecuador, pudiendo así quedar en aptitud de ser sostenido á mayor altura ó más distancia del centro, que en los polos, en donde no existe semejante fuerza contrapuesta á la de gravedad, y en donde, por lo mismo, puede considerarse el agua como específicamente más pesada.

La fuerza centrífuga desarrollada por el movimiento rotatorio de la Tierra produce, como efecto necesario, contrarrestar cierta porción del peso de todo cuerpo situado en el ecuador, comparativamente al peso del mismo en los polos ó en una latitud intermedia cualquiera: conclusión que la experiencia confirma plenamente. Con efecto, se observa que hay diferencia en la gravedad, ó tendencia hacia la Tierra, *de un mismo cuerpo*, cuando sucesivamente se le traslada á parajes que difieren en latitud. Experimentos hechos con el mayor esmero y en todas las partes accesibles del globo, no sólo han demostrado completamente la existencia de un aumento regular y progresivo, en el peso de los cuerpos, correspondiente al aumento de latitud, mas también han fijado sus límites y la ley de su progresión. De ellos se deduce que el límite de esta variación de la gravedad, ó la diferencia entre el peso ecuatorial y polar de una misma masa de materia, es una parte de las ciento noventa y cuatro en que puede dividirse el peso total, siendo el incremento, segun vamos del ecuador hasta los polos, proporcional al cuadrado del seno de la latitud. Es natural que el lector trate de averiguar qué entendemos aquí al decir que un mismo cuerpo tiene diferente peso en diversas

estaciones, y cómo un hecho tal, suponiéndolo cierto, puede ser puesto en claro. Cuando pesamos un cuerpo con una balanza ó romana, no hacemos más que contraponer su peso al peso igual ó equivalente de otro cuerpo que se halla en las mismas circunstancias; y si tanto el cuerpo que se quiere pesar, como su contrapeso, fuesen trasladados á otra estación, sus gravedades, dado caso de que experimentasen alguna alteración, se alterarían igualmente, de forma que continuarían todavía contrapesándose el uno al otro. Por tanto, nunca podría descubrirse por este medio una diferencia en la intensidad de la gravedad, ni es en este sentido, como decimos, que un cuerpo que pesase 194 gramos en el ecuador, pesaría 195 en el polo; puesto en equilibrio en el platillo de una balanza en

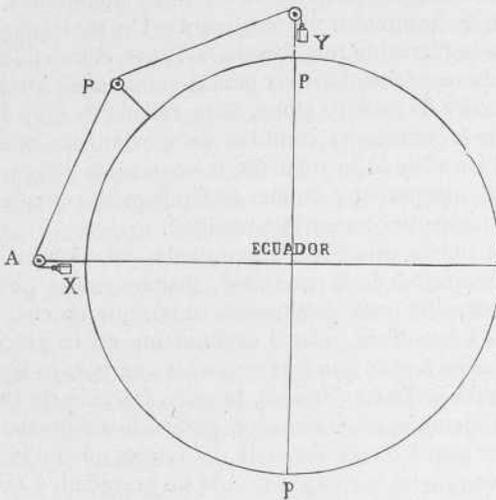


Fig. 95 - Fuerza de gravedad en los polos y en el ecuador

la primera estación, un gramo que se añadiera en la última en cualquiera de los dos platillos, inevitablemente llevaría consigo el fiel.

Podemos, no obstante, demostrar este fenómeno con completa claridad, valiéndonos de ciertos medios adecuados. Imaginemos un peso, X (fig. 95), pendiente en el ecuador de un cordón sin peso, que pase por una polea A, y llevado, suponiéndolo practicable, por medio de otras poleas, como B, alrededor de la convexidad de la Tierra, hasta que el otro extremo viniese á quedar pendiente sobre el polo y allí sostuviese el peso Y. Entonces, si los pesos X é Y fuesen tales

que en una de las estaciones, ecuatorial ó polar, mutuamente se hiciesen equilibrio en una balanza, ó pendientes el uno al lado del otro por medio de una simple polea, en la situación supuesta, ya no podría subsistir el equilibrio, sino que el peso polar Y preponderaría; y para restablecer la equiponderancia, sería necesario aumentar el peso X en $\frac{1}{104}$ de su cantidad.

En el caso presente, como en todos aquellos en que se pretende evaluar las fuerzas mecánicas, podemos manifestar la existencia de la variación de la gravedad, y aun medir á cuánto asciende, por dos distintos métodos, el estático y el dinámico. El primero consiste en poner la gravedad de un cuerpo en equilibrio, no con la del cuerpo, sino con una fuerza natural de diferente género, que no esté sujeta á sufrir alteración por la mudanza de localidad; tal es la fuerza elástica de un muelle.

En la fig. 96 se representa una balanza bastante común, fundada en este mismo principio, la cual se conoce también con el nombre de dinamómetro. Pero el aparato que nosotros necesitamos para medir la fuerza variable de la gra-

vedad terrestre en los polos y en el ecuador tiene que ser mucho más sensible y delicado; sea A B C (fig. 97) una columna ó barra fuerte de bronce, fundida en una pieza con su base A E D, en la cual haya embutido un plano de ágata pulimentado D, dispuesto todo de manera que pueda éste colocarse en una posición exactamente horizontal, por medio de un nivel: cuélguese en C un muelle espiral G, que en su extremo inferior lleve un peso F, pulimentado, y convexo por la parte más baja. El largo y fuerza del muelle debe arreglarse de modo que el peso F quede pendiente de él á corta distancia del plano de ágata, pero sin que llegue á tocarle, aun en la más alta de las latitudes en que se haya de usar el instrumento. En tal estado, añadiendo con tiento pesos pequeños, se le puede hacer bajar hasta que exactamente quede rasante ó en contacto con el plano de ágata, contacto que puede apreciarse con la mayor delicadeza imaginable. Anótese el peso añadido, y desprendiendo con cuidado primero el peso F, y luego el muelle G, de sus respectivos ganchos, guárdese este último con todas las precauciones posibles para preservarlo durante el viaje de la oxidación, sacudidas, ó cualquier otro accidente que pueda alterar su fuerza, y trasládese todo el aparato á una latitud más baja. Volviéndolo á montar aquí, se hallará que á pesar de habersele añadido el mismo peso que antes, ya el cuerpo F no ejercerá la fuerza suficiente para estirar el muelle en la cantidad que se requiere, á fin de producir un contacto semejante; será necesario añadir más peso, y es evidente que la cantidad adicional necesaria para el efecto, medirá la diferencia de la gravedad entre las dos estaciones, cual se ejerce sobre la cantidad pendiente, esto es, la suma del peso F y la mitad del peso de muelle. Concediendo, pues, que se pueda construir un resorte espiral de tal fuerza y dimensiones que un peso de 10.000 gramos ó 10 kilogramos, incluso el suyo propio, sea capaz de alargarlo 20 centímetros, sin que esta extensión tenga nada de permanente, el peso adicional de un gramo lo alargaría $\frac{1}{800}$ de centímetro, cantidad muy apreciable en un contacto como este de que se trata, y por lo tanto, con este medio podríamos medir la fuerza de la gravedad en cualquiera estación, dentro del límite de $\frac{1}{40000}$ de su cantidad total.

El otro procedimiento, esto es, el dinámico, por medio del cual se puede determinar la fuerza que impele á un peso cualquiera dado hacia la Tierra, consiste en averiguar la velocidad que comunica á dicho peso, cuando se le deja caer con toda libertad en un tiempo también dado, como, por ejemplo, en un segundo.

Esto nos obliga á entrar en algunos detalles.

Galileo con sus experimentos sobre la caída de los cuerpos trató de destruir la idea errónea, que existía entre los sabios y físicos de su siglo, de que los cuerpos caían con distintas velocidades según que la substancia de que estaban formados era más ó menos pesada. Observó que la velocidad adquirida va aumen-

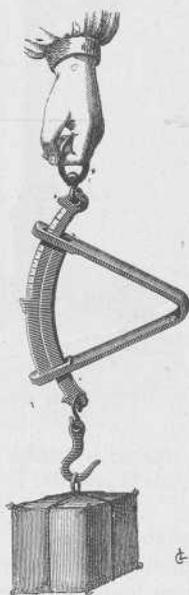


Fig. 96. - Balanza de muelle

tando con las alturas de donde el cuerpo se desprende, y que los espacios recorridos no son simplemente proporcionales á los tiempos empleados en recorrerlos, ó de otro modo, que el movimiento de los cuerpos graves, en lugar de ser uniforme, es un movimiento acelerado.

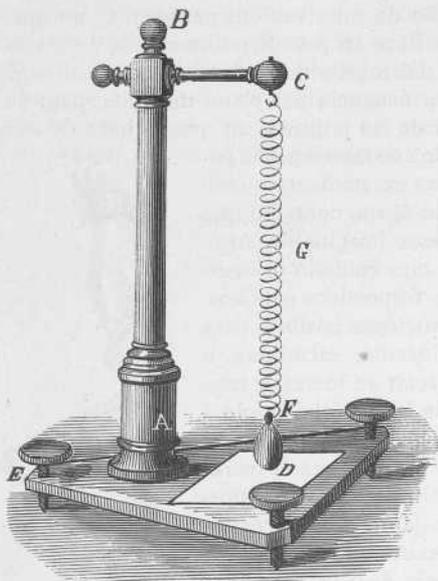


Fig. 97. - Balanza para medir la intensidad de la gravedad en los polos y en el ecuador

abandonado á sí mismo, en un plano que forme ángulo con el horizonte y sometido únicamente á la acción de la gravedad, sigue en su movimiento las mismas leyes que si cayese en sentido vertical, hecha abstracción, en ambos casos, del rozamiento del cuerpo sobre el plano y de la resistencia del aire durante

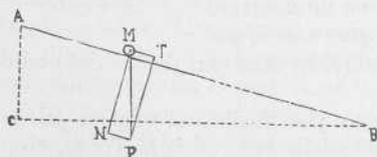


Fig. 98. - Plano inclinado de Galileo

el tiempo que el cuerpo emplea en recorrer su camino. La fuerza que obliga al móvil á recorrer el plano inclinado es la de la gravedad, disminuida en la relación de las dos líneas AC y BC (fig. 98) que miden su altura y su largo. Por ejemplo, en el caso que representa el grabado, la energía de la gravedad está reducida aproximadamente á la cuarta parte de su valor natural. De esta manera fué dable á Galileo medir con holgura los espacios recorridos durante los segundos sucesivos de la caída; el aparato de que se valió se componía de una cuerda muy lisa y suave, que un contrapeso conservaba con la tirantez necesaria, colocada en posición oblicua, de un muro al opuesto, y de un carrito formado por dos poleas y un pequeño peso que los mantenía en equilibrio.

Para hacer evidente Galileo la causa de la desigual rapidez con que caen los diferentes cuerpos, amasó varias bolitas de diversas substancias y las dejó caer al mismo tiempo desde lo alto de la torre inclinada de Pisa, llegando todas á tocar al suelo casi en el mismo momento; desfigurándolas luego, y dándoles otras formas, con lo que cambiaba su extensión superficial, reconoció que caían con velocidades muy desiguales, lo cual le condujo á discurrir que la gravedad obra, efectivamente, sobre todos los cuerpos con la misma fuerza en todos instantes, y que las velocidades deben ser proporcionales á los tiempos, demostrando su hipótesis por un experimento famoso al cual va unido su nombre: el del plano inclinado de Galileo. La rapidez con que los cuerpos pesados se precipitan en su caída, no permitía al ilustre italiano realizar su estudio; pero recordando que un cuerpo pesado

En tiempo de Galileo no se conocía la máquina neumática, por lo que el lustre grande hombre no pudo efectuar su experimento de las bolitas en el vacío; Newton lo realizó y hoy día se demuestra en las clases de física que todos los cuerpos caen con igual velocidad cualquiera que sea su peso. El experimento se realiza del modo siguiente: un tubo de cristal de unos dos metros de largo va cerrado de firme por su parte superior, llevando en el extremo opuesto un casquete de metal con una llave que puede atornillarse en la máquina neumática; se introducen en el tubo varios cuerpos de distintas densidades, como pedacitos de madera, de metal, piedrecillas y plumitas tenues, que van á ocupar el fondo del cilindro; si estando éste lleno de aire, se le invierte con rapidez, todos los cuerpecillos caerán, pero en distintos períodos de tiempo; mas si se repite la operación, extrayendo progresivamente el aire del tubo, se observa que la desigualdad del tiempo de la caída decrece con la rarefacción del medio en que se efectúa. Cuando el vacío es perfecto, todos los cuerpos de diversas densidades que hemos encerrado en el tubo, caen al mismo tiempo (figura 99), oyéndose un solo golpe al llegar al fondo del aparato.

Otro método hay para determinar la diferencia que existe entre la fuerza de gravedad del polo y la del ecuador, que es el del péndulo.

Se cuenta que, siendo Galileo estudiante en la Universidad de Pisa, asistió á una función religiosa que se verificaba en catedral de la misma ciudad; distraidamente sin duda, fijó sus miradas en una magnífica lámpara de bronce, obra maestra de Benvenuto Cellini, que suspendida de una larga cuerda, oscilaba con lentitud ante el altar; poco á poco fué disminuyendo su movimiento, hasta cesar por completo; pero durante las últimas oscilaciones observó Galileo que los arcos descritos por la lámpara eran cada vez de menor amplitud, permaneciendo, empero, constante la duración de las oscilaciones. Más tarde repitió con mejores medios el experimento y descubrió la relación que existe entre esta duración y la longitud de la cuerda que sustenta el peso oscilante. A Huyghens se debe, sin embargo, la teoría matemática de los movimientos del péndulo.

Un péndulo viene á ser, en esencia, un peso material suspendido en uno de los extremos de un hilo inextensible y sin peso; esto es imposible realizarlo en la práctica, pero la teoría lo concibe fácilmente. Fijando el hilo por su extremidad superior, la acción de la gravedad obra sobre el peso y hace que el hilo siga la línea vertical; pero si en un espacio privado de aire lo apartamos de esta direc-

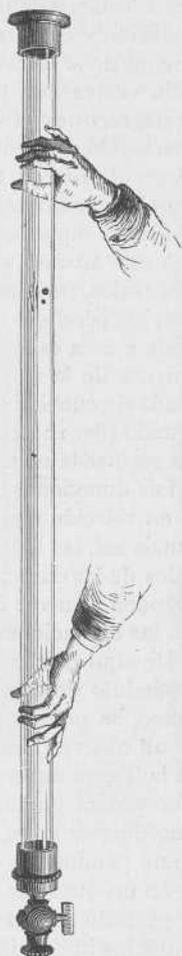


Fig. 99. — Tubo de Newton para demostrar la igualdad de velocidad de los cuerpos que caen en el vacío.

ción, abandonándolo á sí mismo, la fuerza de gravedad continúa obrando sobre el punto material, que cae; pero como el hilo es inextensible, la caída se efectuará á lo largo de un arco de círculo, cuyo centro se encuentra en el punto de suspensión y cuyo radio es la longitud del hilo; el cálculo demuestra que el movimiento debe efectuarse con una velocidad creciente, hasta el momento en que el hilo vuelva á su posición vertical, y que luego, en virtud de la velocidad adquirida, recorre un arco igual al primero, pero con una velocidad decreciente, comenzando entonces un movimiento en sentido inverso, pero perfectamente análogo al primero, toda vez que las circunstancias son las mismas. Este sería el *movimiento continuo* si fuera posible realizar el experimento en las condiciones que hemos supuesto.

A este aparato se da el nombre de péndulo simple por oposición á los péndulos reales, pero compuestos, que son sólo los que pueden construirse y observarse; los péndulos de esta última clase están formados, por lo común, por una lenteja ó bola esférica de metal y por una varilla rígida que encaja en el centro de figura de la masa metálica. La varilla lleva en su extremidad superior una especie de cuchilla triangular que descansa por su filo en un plano duro y pulimentado (fig. 100); de esta suerte están contruídos los péndulos que se emplean para regular la marcha de las máquinas de los relojes.

Las duraciones de las oscilaciones de pequeña amplitud de un péndulo están en relación con su longitud, según una ley descubierta por Galileo, que se enuncia así: las longitudes de los péndulos se hallan en razón inversa de los cuadrados de las duraciones de sus pequeñas oscilaciones. Pero estos dos elementos dependen á su vez de la intensidad de la gravedad en el lugar en que se efectúan las oscilaciones.

De aquí resulta que, si se cuenta con esmero el número de oscilaciones que un péndulo de longitud determinada con rigurosa exactitud, ejecuta en un día sidéreo, se podrá calcular la duración exacta de cada oscilación; supongamos que un observador se transporta del ecuador á los polos; como ya demostramos que la Tierra no es esférica, la distancia que media del observador al centro del globo variará gradualmente y con ella la fuerza de la gravedad, que alcanzará, como dijimos antes, su valor mínimo en los polos; así, por ejemplo, se ha hallado que un péndulo de cierta forma y extensión hace en el ecuador 86.017 oscilaciones en un día solar medio ó 24 horas, y que transferido á los polos, hace el mismo péndulo 86.242 en el mismo tiempo, de donde deducimos, por la ley citada de que las intensidades de las fuerzas están entre sí en razón directa de los cuadrados del número de oscilaciones, que la intensidad de la fuerza que tira del péndulo hacia abajo en el ecuador, es á la que obra de este mismo modo en los polos, como $(86,017)^2$ es á $(86,242)^2$, ó como 1 es á 1,00523. Lo cual equivale á decir que una masa que pesase en el ecuador 100 523 kilogramos, ejercería la misma presión sobre el terreno, ó igual esfuerzo para desmenuzar un cuerpo colocado debajo de ella, que ejercería en los polos otra masa que sólo pesase 100.000 kilogramos.

Experimentos de esta clase se han hecho en todas las latitudes accesibles, con el mayor esmero y las precauciones más minuciosas, para lograr la mayor exactitud que fuese dable alcanzar, y el resultado general y final de todos ellos

ha sido dar $\frac{1}{19}$, por valor de la fracción que expresa la diferencia de la gravedad en el ecuador y en los polos.

Ahora bien, no dejará de reparar el lector, y probablemente le ocurrirá como objeción contra el modo aquí adoptado de explicar este hecho, la diferencia notable que se advierte entre aquella fracción y la que antes hallamos, á saber, $\frac{1}{289}$, por valor de la fuerza centrífuga en el ecuador: la primera excede á la segunda en un $\frac{1}{800}$, cantidad que, si bien pequeña en sí misma, es con todo de bastante consideración, comparada con las otras dos que la producen, para que deje de tenerse en cuenta, y aun de atacar la validez de la explicación adoptada, si esta no puede dar razón estricta de semejante discrepancia.

Disponemos, además de este método que acabamos de describir, de otro fundado asimismo en el péndulo, para averiguar la intensidad de la gravedad en diversas latitudes. Consiste en hacer oscilar un péndulo, midiendo con gran escrupulosidad su longitud y el número de sus oscilaciones, deduciendo luego la longitud de un péndulo simple que marque los segundos en la misma estación. Las longitudes comparadas del péndulo de segundos en distintos lugares permiten entonces calcular las relaciones que existen entre las intensidades de la gravedad en los mismos lugares.

Por medio del péndulo puede también averiguarse la densidad del globo, observando las diferencias de longitud de un péndulo que marque los segundos en la cima de una montaña elevada y á la orilla del mar; y asimismo, con igual objeto, observando las oscilaciones del péndulo en la superficie del suelo y á cierta profundidad hacia el interior de la Tierra.

Dijimos hace poco que el tiempo que tarda la Tierra en dar una vuelta sobre su eje se llama día sidéreo, y vamos ahora á dar la razón. El movimiento de la Tierra del occidente al oriente produce un efecto inverso en el curso aparente de los astros, que se dirigen, según nuestros sentidos, del Este al Oeste, pasando todos, planetas y estrellas, por los infinitos meridianos en que podemos suponer que se halla dividida la Tierra. Si en un punto cualquiera de ésta colocamos un anteojo cuyo eje se encuentre siempre en el meridiano, por lo cual se llama anteojo meridiano ó de pasos, cuyo eje óptico (figura 101) es susceptible de girar con libertad alrededor de un eje horizontal, al cual es perpendicular el tubo, sin que jamás pueda moverse en otra dirección sino en la del plano del meridiano, de esta disposición resulta que, dando una inclinación determinada al instrumento, todos los puntos situados en un mismo paralelo celeste vendrán, sucesivamente, en virtud del movimiento diurno, á pasar por su eje óptico; y como está en nuestra mano, por la construcción particular del instrumento, hacer variar la

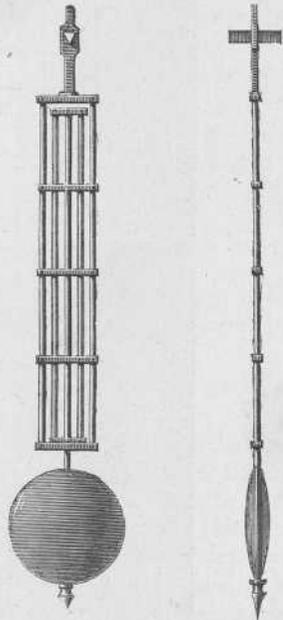


Fig. 100. - Péndulo compuesto

inclinación del eje óptico de modo que forme todos los ángulos posibles con el horizonte, es dable observar el paso por el meridiano, de cualquier punto situado en la bóveda celeste, siempre que se halle en el hemisferio visible del observador.

Al lado de nuestro anteojo meridiano se encuentra un buen reloj de marcha regular; supongamos que una estrella entra en el campo del anteojo, y cruza el

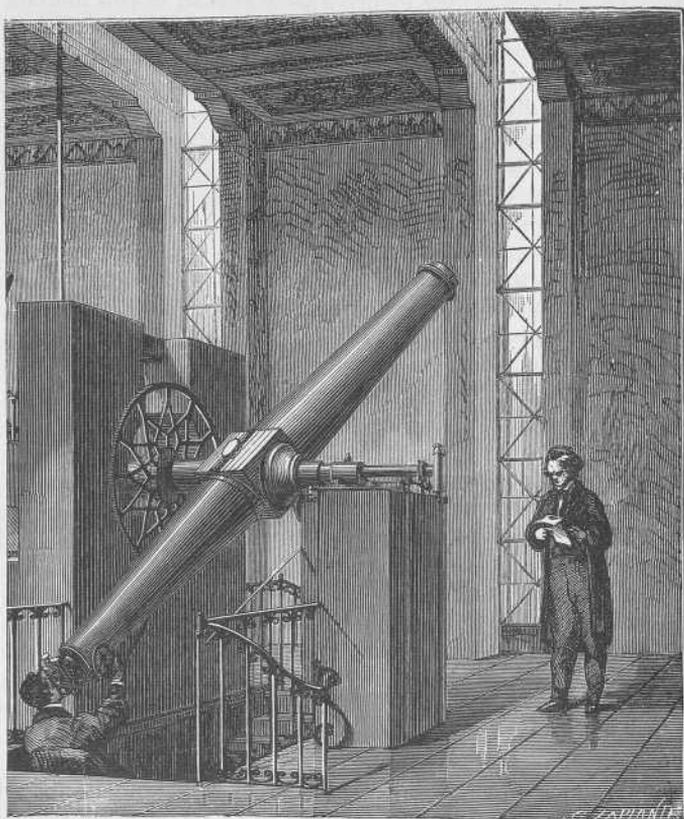


Fig. 101. — Anteojo meridiano

hilo de enmedio, de un retículo colocado en el plano focal; en este momento contaremos la hora que marque el reloj, los minutos, segundos y hasta fracciones de segundo; al día siguiente observamos de nuevo el paso meridiano de la estrella, y contamos la hora señalada por el reloj. La comparación del tiempo transcurrido entre estos dos pasos nos dará la medida del día sidéreo, pues si continuamos nuestra observación durante varios meses, encontraremos, si el reloj marcha bien, que el período de tiempo que transcurre entre un paso y el siguiente es siempre el mismo, lo que equivale á decir que el movimiento ro-

tatorio de la Tierra es constante, y dura exactamente 24 horas sidéreas, que equivalen á 86,164 segundos ó $23^{\text{h}} 56^{\text{m}} 4^{\text{s}}$ de tiempo medio solar.

El día sidéreo ó rotación terrestre es el que por su regularidad y constancia emplean los astrónomos como unidad principal de tiempo, y por él arreglan los péndulos y cronómetros que usan en los observatorios; el día sidéreo se divide en 24 horas, la hora en 60 minutos, el minuto en 60 segundos y el segundo en décimos ó centésimos; mas debe tenerse gran cuidado, al evaluar el tiempo con estas subdivisiones, de caracterizarlas por las palabras *tiempo sidéreo*, á fin de evitar que puedan confundirse con las denominaciones iguales del tiempo solar. Un reloj construído de tal suerte, que siga rigurosamente el movimiento diurno de las estrellas, es lo que se llama péndulo sidéreo; pero debido á la imperfección relativa de su rodaje, á la resistencia del aire, á los rozamientos, etc., al cabo de algún tiempo, adelanta ó atrasa cierta cantidad respecto del movimiento diurno.

Tenemos ya una unidad invariable y de observación fácil, para arreglar nuestro péndulo, pero necesitamos establecer un punto de partida que sirva de origen al día sidéreo; han convenido los astrónomos en que éste sea el instante en que un punto determinado y particular del cielo, situado en el ecuador celeste y que se llama el primer punto de Aries, pase por el meridiano; su posición depende del movimiento propio del Sol, y al encontrarse en el meridiano superior de un lugar, debe señalar el péndulo sidéreo $0^{\text{h}} 0^{\text{m}} 0^{\text{s}}$.

Como el movimiento diurno es uniforme y común á toda la bóveda estrellada, todos los puntos de un paralelo celeste pasan por el campo del anteojo meridiano en 24 horas sidéreas; en una hora pasa la vigésima cuarta parte ó 15° , en un minuto $15'$ y en un segundo $15''$ de arco. La bóveda celeste se considera por los astrónomos dividida en 24 semicírculos equidistantes, cada uno de los cuales viene á su vez á pasar por el plano del meridiano, siendo en el primero de ellos donde está situado el primer punto de Aries ó punto equinoccial, que es el origen del día sidéreo; estos círculos pasan de hora en hora por el meridiano, por cuya razón se denominan círculos horarios, y cortan todos los paralelos celestes en 24 partes iguales de 15° de amplitud. Por cada estrella podemos suponer que pase un círculo horario, y para determinar una de sus posiciones en el cielo, sólo tendremos que contar en el péndulo sidéreo la hora exacta de su paso por el hilo central del anteojo; á este número se llama *ascensión recta* de la estrella. Nos falta ahora determinar su distancia angular al ecuador celeste, que es lo que se designa con el nombre de *declinación*.

En la fig. 102 H H es el horizonte; Z el cenit del lugar A; P el polo y E el ecuador; sabemos que el eje del mundo y el plano del ecuador forman un ángulo recto y que, por lo tanto, de P á E hay 90° ; si la estrella se encuentra en e , su declinación será el arco E e ; si en e' , su declinación será el arco E e' ; en el primer caso se halla la estrella en el hemisferio boreal, y en el segundo en el austral, con cuyos nombres se distinguen las declinaciones; observaremos también que la distancia que hay de la estrella al polo, ó distancia polar restada

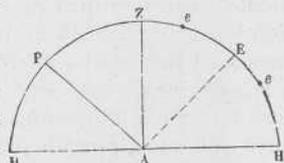


Fig. 102. — Medida de la declinación de una estrella

de 90° , nos da la declinación de la estrella si está situada en el hemisferio boreal; pero si la estrella está en el hemisferio opuesto, hay que restar 90° de la distancia polar para saber la declinación.

Si en vez de observar sólo el paso de las estrellas en el anteojo meridiano, aguardamos también á que el Sol cruce por su campo, y contamos en el péndulo el tiempo que transcurre entre dos pasos sucesivos, veremos que se retarda, y que emplea $3^m 56^s$ más que las estrellas en cortar dos veces el meridiano, lo cual hace que el día solar sea más largo que el sidéreo, precisamente en esa cantidad, y que si bien uno y otro día se dividen en 24 horas siendo el mismo el número de sus subdivisiones, son desiguales los períodos de tiempo que abarcan, por referirse á distintas unidades, más corta la que tiene por base el movimiento diurno, que la que se apoya en el Sol. Ni tampoco son rigurosamente iguales entre sí los intervalos sucesivos que median entre los pasos del Sol, lo que equivale á decir que los días solares son de longitud variable. Tenemos aquí ya dos días diferentes, el solar que dura 24^h , y el sidéreo $23^h 56^m 4^s$; y si en lugar de observar el Sol ó las estrellas, observamos la Luna, hallamos otro tercer día, mucho más largo que cualquiera de los anteriores, un día lunar, cuya duración, por un promedio, es de $24^h 54^m$ de tiempo común, que es el solar, arreglado á las sucesivas reapariciones del Sol, de que dependen todas las transacciones de la vida.

Acabamos de apuntar que los días solares son desiguales. En efecto; los intervalos que median entre dos pasos consecutivos del Sol no son los mismos en todas las épocas del año, ni constantes las diferencias que presentan con los pasos de las estrellas.

Veamos en qué consiste este fenómeno, que se explica naturalmente, teniendo en cuenta el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol, movimiento que se efectúa en el transcurso de un año; consideremos, en efecto, á la Tierra en las dos posiciones sucesivas O y O' (fig. 103) que ocupa en su órbita con el intervalo justo de un día sidéreo ó una rotación completa sobre su eje; en O el Sol pasó por un meridiano cualquiera dado B O A, coincidiendo su centro con alguna estrella, cuya prolongación indica la letra E. Al cabo de un día sidéreo, el meridiano B' O' A', tras una rotación entera, se ha colocado paralelamente á su primitiva dirección, de suerte que la estrella, en virtud de la infinita distancia á que se encuentra, pasa otra vez por su plano; mas con el Sol no sucede lo mismo, pues hallándose mucho más cerca que la estrella, presenta diversas perspectivas, según que la Tierra ocupa distintas posiciones en su órbita; así vemos, por ejemplo, que en el intervalo de una rotación, la Tierra ha recorrido en su órbita el arco O O' y la línea que unía su centro al centro del Sol no coincide ya con el plano del meridiano, pues forma con él el ángulo A' O' S'; para que el Sol pase de nuevo por el meridiano, es preciso, por lo tanto, que la Tierra, además de su rotación completa, gire también cierta cantidad igual al ángulo indicado, y cuando la haya recorrido y coincida de nuevo su meridiano con el centro del Sol, habrá transcurrido un día solar.

Esta es la razón de las desigualdades que presentan los días solares con los sidéreos; por una parte la distancia inmensa, infinita, á que se encuentra la estrella en comparación con la que media de la Tierra al Sol, y por otra, el mo-

movimiento de traslación de nuestro planeta en torno del astro lumínico del día. El eje polar, prolongado en ambos sentidos, corta á la Tierra en dos puntos, que son para nosotros los polos inmóviles del cielo, es decir, inmóviles relativamente, pues más adelante veremos que, en virtud de ciertos movimientos de balanceo ú oscilación que se llaman de precesión y de nutación, sufre cierto cambio el eje del mundo.

El movimiento diurno de la esfera celeste nos ha servido para probar la rotación de la Tierra sobre su eje, y ahora nos vamos á valer del movimiento

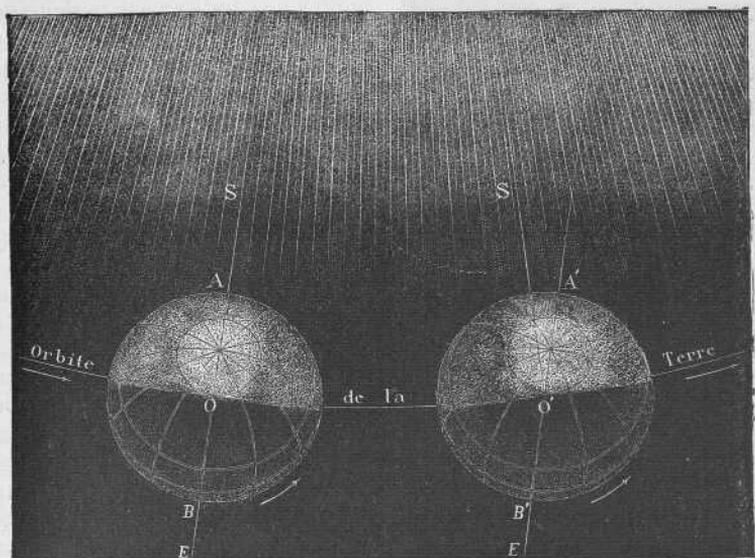


Fig. 103. — Diferencias de duración entre los días solar y sidéreo

año del Sol, para demostrar que nuestro globo navega por los espacios, sin pasar dos veces por un mismo punto y siguiendo una ruta eterna, infinita.

Esta verdad se había ocurrido á algunos grandes hombres de la antigua Grecia; Aristarco de Samos, que floreció 280 años antes de J. C., supuso, según refiere Plutarco, que la Tierra giraba en torno del Sol; esta teoría se conservaba, al parecer, secreta entre los partidarios de la escuela pitagórica; resucitóla Aristarco, que por esta causa fué acusado de impiedad por los sacerdotes, por haber turbado el reposo de Vesta, y de los dioses lares protectores del Universo. Cleanto siguió las huellas de Aristarco, y como éste fué perseguido, porque pretendió explicar por el movimiento de traslación de la Tierra los fenómenos del cielo estrellado.

Los promovedores, empero, de la gran reforma científica fueron también Copérnico y Galileo, esos dos hombres ilustres que, á despecho de las preocupaciones é ignorancia de las gentes que los rodeaban, supieron establecer

sobre sólidas bases la verdadera teoría de los movimientos de nuestro planeta y su situación en el universo.

El movimiento de traslación de la Tierra explica, claramente, la marcha retrógrada que parece seguir el Sol á través de las constelaciones zodiacales; esto es, que parece caminar poco á poco de Occidente á Oriente, en sentido contrario al movimiento diurno; examinemos este movimiento con mayor atención.

En una esfera celeste se trazan, además de los círculos que conocemos, como ecuador, paralelos y horarios, los

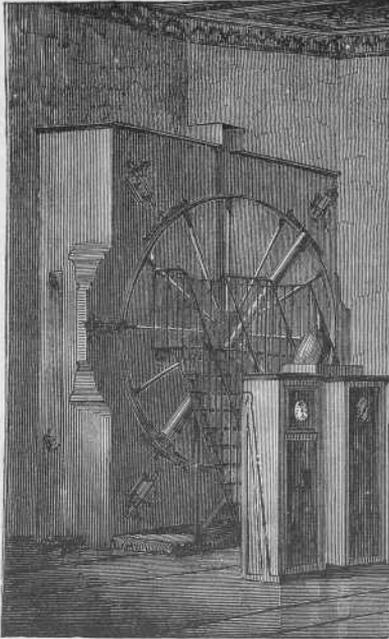


Fig. 104. —Círculo mural

puntos que indican las posiciones relativas de las estrellas principales de las constelaciones, lo cual sabemos que puede ejecutarse sin dificultad, conociendo sus ascensiones rectas y sus declinaciones. Esta esfera va á servirnos para marcar diariamente la posición exacta del Sol en el cielo, y para reconocer el camino que ha recorrido en su marcha retrógrada; para esto tenemos que hallar cuál es su ascensión recta y su declinación á mediodía, lo que conseguimos, observando su paso por el meridiano con el auxilio del antejo de pasos y del péndulo sidéreo; mas no siendo el Sol un punto luminoso como las estrellas, sino un círculo, y necesitando nosotros conocer las coordenadas del centro del disco, observaremos los pasos sucesivos por el hilo central del instrumento, de los bordes oriental y occidental, y tomando la mitad del tiempo invertido, obtendremos el instante del paso del centro; del mismo modo, y valiéndonos de otro instrumento llamado círculo mural (fig. 104), obtendremos la distancia cenital de ambos bordes, y la semi-suma será la distancia del centro, ó sea su declinación; nos es fácil, pues, señalar sobre el globo celeste los puntos ocupados por el Sol durante una serie de días, por ejemplo, un año.

Si ahora unimos todos estos puntos por una línea continua (fig. 105), veremos que esta curva forma un círculo máximo de la esfera, cuyo plano está inclinado sobre el plano del ecuador; la línea que acabamos de trazar es la eclíptica, y corta al ecuador en dos puntos diametralmente opuestos que son los equinoccios, llamados así porque al encontrarse en ellos el Sol, en dos épocas del año correspondientes, son iguales los días y las noches para la Tierra. La inclinación de la eclíptica respecto del ecuador hace que el Sol recorra la mitad de su órbita en el hemisferio celeste boreal, y la otra mitad en el austral.

Al encontrarse el Sol en los puntos equinocciales, acabamos de ver que se halla en el ecuador, luego su declinación será cero, puesto que desde este círculo es de donde empiezan á contarse; al seguir su marcha por la eclíptica, irá aumentando el valor de la declinación hasta llegar á unos puntos que se llaman solsticiales, comenzando entonces á disminuir hasta volver de nuevo á cero; al llegar el Sol á los solsticios, disminuye tanto su movimiento, que parece estacionario; de ahí el nombre, que viene del latín *sol*, Sol, y *stare*, detenerse.

Nada nos impide que hayamos empezado á anotar la ascensión recta y la declinación del Sol el día preciso en que se encontraba en el ecuador, esto es, en cualquiera de los equinoccios; y que aguardemos luego á que el astro ejecute una revolución entera en la eclíptica, hasta que vuelva á encontrarse en el mismo punto equinoccial. Observaremos entonces que ha pasado por el meridiano 365 veces justas, y que ha sobrado un espacio de tiempo igual á la cuarta parte de un día solar.

Este período que tarda el Sol en volver al punto equinoccial de donde partió, se llama *año trópico* y consta de 365 días solares y $\frac{1}{4}$, de modo que en cuatro años pasará el Sol por el meridiano 365 veces por 4 y una vez más.

Si al mismo tiempo que nosotros observamos el paso del Sol por el meridiano, otro astrónomo á nuestro lado hubiese anotado el paso de una estrella, que se verificase en el mismo instante, ambos astros estarían comprendidos en el mismo círculo horario; al día siguiente, y repetiremos por su importancia lo que ya dijimos, se distinguirá la estrella en el campo del anteojo, cuando al Sol falte todavía una pequeña cantidad, $3^m 56^s$, para pasar por el meridiano; en los días sucesivos se repetirá el mismo fenómeno, y al cabo de un mes, la estrella, que en el origen tenía el mismo círculo horario que el Sol, cruzará el hilo del anteojo cerca de dos horas antes que este astro; á los seis meses, la diferencia será de 12 horas, de modo que la estrella pasará á las 12 de la noche anterior al paso del Sol; en suma, al final del año el adelanto de la estrella será de 24 horas, y si se aguarda á que el año trópico se cumpla, habrá pasado la estrella por el meridiano una vez más que el Sol, de modo que el *año sidéreo* consta de 366 días y un cuarto contado en tiempo sidéreo. Esta es una consecuencia directa de la revolución de la Tierra en torno del Sol, combinada con el movimiento rotatorio ó diurno, fenómeno que tiene lugar para todos los pla-

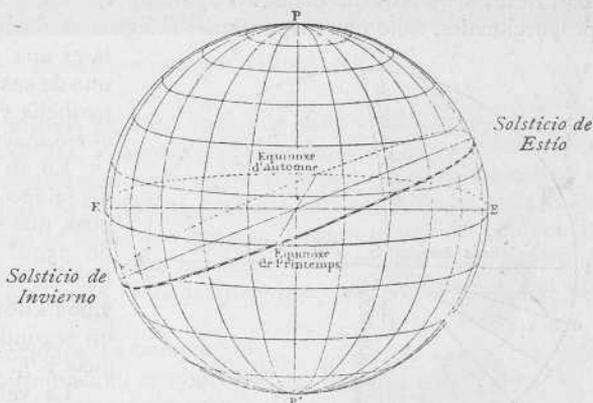


Fig. 105. — Órbita aparente del Sol

netas cualquiera que sea el número de rotaciones que efectúen durante una revolución completa alrededor del Sol y sean las que fueren las duraciones de sus días sidéreos ó solares.

La forma de la órbita terrestre puede determinarse midiendo esmeradamente y día por día el diámetro del Sol; tiremos en efecto, por un punto de un plano que represente el plano de la eclíptica, una serie de radios (fig. 106) que indiquen las direcciones en que sucesivamente se encuentra la Tierra respecto del Sol, y si unimos los extremos S P, S a, S b, S A, con una línea continua, se obtendrá una curva que será la que la Tierra describe al recorrer su órbita.

En cuanto á las distancias relativas S P, S a,...., se deducen sencillamente de los valores sucesivos del diámetro aparente del Sol, á los que son inversamente proporcionales. Sólo con inspeccionar la figura se reconoce que la curva descri-

ta es una elipse, que el Sol ocupa uno de sus focos y que las distancias perihelia y afelia S P y S A forman el eje mayor.

En un día recorre nuestro globo 2.544.200 kilómetros ó 636.550 leguas, que es la longitud de un arco de $3548''$ de su órbita, de modo que en una hora anda la Tierra 2.602 kilómetros ó 650 leguas y en un segundo 29.450 metros ó 7 leguas y $\frac{1}{3}$.

La velocidad traslatoria de la Tierra no es constante; primeramente podemos ver que teniendo el año $365 \frac{1}{4}$ días y la órbita terrestre 360° , la velocidad angular

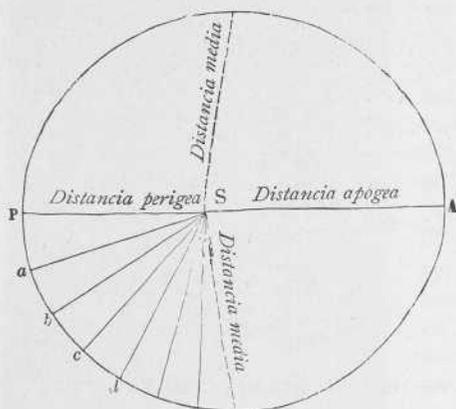


Fig. 106. - Forma elíptica de la órbita terrestre

de nuestro globo viene á ser precisamente de un grado en 24 horas. Pero profundizando algo más este estudio, observaremos que el 1.º de enero, esto es, en el perihelio, alcanza su valor máximo que llega á $1^\circ 1' 10''$, que equivalen á 30.000 metros por segundo poco más ó menos; del 1.º de enero al 1.º de julio, decrece la velocidad de un modo continuo, llegando á ser en esta última época ó de su afelio, sólo de $57' 11''$ ó sean únicamente 28.960 metros por segundo; en el resto del año sigue aumentando su valor hasta llegar á la época antes señalada, por manera que vemos aquí que á medida que la Tierra efectúa una rotación entera sobre su eje, adelanta en su órbita una cantidad igual á 200 veces su diámetro.

En la fig. 107 se observa cuán grande es el camino recorrido por la Tierra en un período de seis horas, relativamente á las dimensiones del globo. Un punto del ecuador que se mueva en torno del eje con una velocidad de 465 metros por segundo, es transportado en el mismo tiempo á una distancia de 29.450 metros.

De la combinación de los movimientos de rotación y de traslación de la Tierra sabemos que resultan las diferencias entre los días sidéreos y solares y las que existen asimismo entre estos últimos, pues siendo el movimiento de re-

volución alrededor del Sol variable, y constante el de rotación, necesariamente el tiempo transcurrido entre dos pasos sucesivos del Sol por el meridiano varía según la posición que la Tierra ocupa en su órbita.

Antes de explicar este fenómeno diremos cuatro palabras sobre el método empleado para determinar con toda exactitud el momento en que principia el año trópico, lo cual ocurre cuando la declinación del Sol es cero, es decir, cuando su centro corta el ecuador. Para ello se observa el Sol en el meridiano, el día que precede, y el día que sigue al equinoccio de primavera; se mide con el círcu-



Fig. 107. - Espacio que recorre la Tierra en seis horas

lo mural la declinación austral SP (fig. 108) y la declinación boreal $S'P'$ del centro del Sol para ambos días, y luego, por medio de un pequeño cálculo, en el que se supone que la declinación varía en el intervalo proporcionalmente al tiempo transcurrido, lo cual es cierto con bastante aproximación, se halla el instante en que la declinación es nula, y se tiene así la hora exacta del equinoccio. Una operación igual efectuada al año siguiente nos dará del mismo modo la hora exacta del nuevo equinoccio, y hallaremos por tanto la duración del año trópico.

Aun con estas precauciones, se cometen algunos errores en la determinación, errores que dependen de la observación misma; pero se consigue atenuarlos casi por completo haciendo uso de observaciones efectuadas á largos intervalos, por ejemplo, que disten entre sí un siglo. Por este medio se obtiene la duración de cien años con igual exactitud que la de uno solo, y dividiendo por ciento, se disminuye el error en la misma proporción.

En la siguiente tabla se da la longitud del año trópico determinada por diversos astrónomos en distintas épocas:

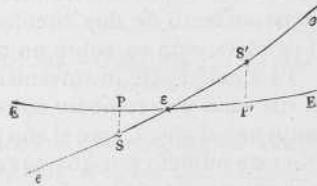


Fig. 108. - Determinación del momento exacto del equinoccio

| | 365 ^d | 0 ^h | 0 ^m | 0 ^s |
|--------------------------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| Según los antiguos egipcios. | 365 | 6 | 18 | 57 |
| Metón. | 365 | 6 | 0 | 0 |
| Calipo. | 365 | 5 | 55 | 12 |
| Hiparco. | 365 | 5 | 46 | 24 |
| Alfonso X (siglo XIII). | 365 | 5 | 49 | 16 |
| Walther (siglo XV). | 365 | 5 | 48 | 50 |
| Copérnico (siglo XVI). | 365 | 5 | 49 | 6 |
| Tycho Brahe. | 365 | 5 | 48 | 45 |
| Keplero (siglo XVII). | 365 | 5 | 48 | 58 |
| J. Cassini (siglo XVIII). | 365 | 5 | 48 | 52 |
| Flamsteed. | 365 | 5 | 48 | 57 |

| | |
|--------------------|---|
| Halley. | 365 ^d 5 ^h 48 ^m 55 ^s |
| La Caille. | 365 5 48 49 |
| Dalambre. | 365 5 48 52 |
| Laplace. | 365 5 48 50 |
| Bessel | 365 5 48 48 |

Recordará el lector que dijimos que los astrónomos empleaban como unidad de tiempo el día sidéreo á causa de la uniformidad perfecta del movimiento de rotación de la Tierra, que produce la absoluta igualdad de los días así llamados; pero también emplean el día solar para los usos de la vida civil, pues sería muy incómodo servirse del día sidéreo, cuyo principio y fin caen, en el curso del año, en todos los momentos del día y de la noche; y como los días solares definidos naturalmente por los pasos sucesivos del Sol por el meridiano son desiguales, por las razones apuntadas, ha sido necesario idear otro día ficticio, que es el que vamos á explicar.

Ni depende sólo la desigualdad de los días solares de las causas expuestas; contribuye también á producirla la oblicuidad de la eclíptica ó ángulo que forma este círculo con el ecuador celeste.

En efecto; aun cuando el Sol se moviera uniformemente en la eclíptica, y recorriese los arcos iguales ES , $S'S''$ (fig. 109) en el mismo tiempo, en épocas distintas del año, en el equinoccio y en el solsticio, por ejemplo, los arcos ER y $R'R''$ que miden su movimiento en ascensión recta, no serían iguales; en efecto, ER es más pequeño que la hipotenusa ES , mientras que $R'R''$, sensiblemente paralela á $S'S''$, es al contrario mayor que $S'S'$, puesto que ambos arcos miden el apartamiento de dos círculos distintos, uno sobre el ecuador y el otro sobre un paralelo, esto es, sobre un círculo de radio más corto.

Para evitar este inconveniente han adoptado los astrónomos como duración del día solar un promedio entre las duraciones desiguales de todos los días que componen el año. Como el año trópico consta de 366,2422 días sidéreos, han dividido este número por 365,2422 que es el número de días solares comprendidos en el mismo intervalo, obteniendo así el valor de un día solar medio en tiempo sidéreo, de modo que un día solar medio es igual á

$$24^h \quad 3 \quad 56^s,55$$

de tiempo sidéreo.

Tenemos, pues, tres clases de días.

El día sidéreo, de duración uniforme y que mide el tiempo que emplea la Tierra en dar una vuelta sobre su eje.

El día solar verdadero, de duración variable según la época del año, y que mide el tiempo que tarda el Sol en pasar dos veces sucesivas por el meridiano. El día solar medio, que es un promedio entre los días solares verdaderos de todo el año.

No basta, empero, que se conozca la duración exacta de este día medio para evaluar el tiempo de un modo uniforme; es necesario convenir también en el origen del día. Esto ya sabemos cómo se obtiene respecto del tiempo sidéreo, que comienza en el instante en que el primer punto de Aries, ó punto equinoccial

de primavera, pasa por el meridiano del lugar; mas para el día medio es preciso hacer una convención semejante. He aquí la que han ideado los astrónomos.

Han supuesto que existe un sol ficticio que se mueve como el Sol verdadero sobre la eclíptica, pero con una velocidad uniforme, de tal suerte que las posiciones de ambos astros coinciden en la época del perigeo y por consecuencia en la del apogeo, es decir, en los momentos en que la velocidad del Sol alcanza su máximo y su mínimo. Con este artificio se elimina la primera causa de las que producen la desigualdad de los días solares.

Además, se ha imaginado también otro Sol ficticio, que se mueve sobre el ecuador de un modo uniforme, y con la misma velocidad que el anterior lo verifica en la eclíptica. Para fijar su posición se les supone que comienzan su carrera en el instante preciso del mismo equinoccio. Esta nueva hipótesis destruye la segunda causa de la desigualdad de los días solares.

Al segundo Sol ficticio se da el nombre de Sol medio, y sus pasos sucesivos por el meridiano de un lugar son los que sirven para fijar el origen de los días medios sucesivos.

El conocimiento del movimiento propio del Sol verdadero permite, con auxilio de las hipótesis preferentes, calcular día por día, en el curso del año, la posición del Sol ficticio ecuatorial, y por lo tanto, la hora exacta de sus pasos por el meridiano. Unas veces atrasa respecto del Sol verdadero y otras adelanta, y otras, por último, pasan ambos al mismo tiempo por el meridiano; esta diferencia ó cantidad se llama *ecuación de tiempo*. De esto resulta la especie de paradoja que consiste en decir que un reloj que marche bien no debe andar con el Sol, toda vez que el movimiento de este astro es tan irregular.

Gracias á esta ficción de un Sol que se mueve uniformemente, puede el día solar emplearse para medir el tiempo y arreglar los relojes públicos y particulares; en la astronomía se hace uso tanto del día solar como del sidéreo, pero se tiene siempre buen cuidado de advertir las horas de cada sistema agregando las denominaciones *tiempo sidéreo* ó *tiempo medio*.

También queremos hacer notar, que por la diferencia que existe entre el tiempo medio y el verdadero, la hora del mediodía no divide el tiempo que el Sol está sobre el horizonte en dos partes iguales, pues esta propiedad sólo corresponde al mediodía verdadero. Mas la desigualdad de las dos porciones del día, comprendidas entre el mediodía medio y la salida y postura del Sol, no son demasiado considerables; así, por ejemplo, el 3 de noviembre llega á ser esta diferencia de 33 minutos, que no es demasiado tratándose de la mayor discrepancia en todo el año.

Por escasa que haya sido la atención prestada á los fenómenos de los cielos, bien puede decirse que no existirá en el mundo un solo hombre, á menos de ser ciego ó idiota, que haya dejado de observar la desigualdad que presentan

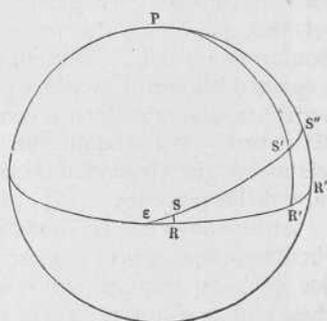


Fig. 109. — Desigualdad de los días solares

en el curso del año, en cuanto á su duración, los días y las noches. En nuestro hemisferio boreal, vemos que el día aventaja á la noche durante las estaciones estivales de primavera y verano, siendo, por el contrario, más largas las noches que los días durante las estaciones de otoño é invierno.

¿A qué ley obedecen estos cambios? ¿Es igual su acción para todos los puntos del globo terrestre, ó cambia y se modifica según las latitudes? ¿Qué relación existe, en suma, entre estos fenómenos tan interesantes para nosotros, y los movimientos de la Tierra? Estos son los asuntos que vamos á examinar ahora y que por su importancia merecen que los estudiemos con detenimiento.

Debemos distinguir, ante todo, lo que se llama vulgarmente *día*, en oposición á la *noche*, del período sidéreo ó solar, á que dan los astrónomos igual nombre. Por día sidéreo se entiende el tiempo que emplea la Tierra en girar por completo sobre su eje; por día solar, el intervalo, algo variable en el curso del año, que separa dos pasos consecutivos del Sol por un mismo meridiano. Aquí tratamos del día natural, ó intervalo de tiempo comprendido en un lugar y época dada, entre la salida y postura del Sol, ó sea mientras alumbra en un horizonte determinado; así como la duración del día solar es casi uniforme, el día natural y la noche ofrecen discrepancias tan considerables como de cero á seis meses, que dependen de las épocas ó situaciones de la Tierra en la eclíptica, y de las latitudes.

Antes vimos que la Tierra se halla dividida en cinco zonas que limitan los círculos polares y los trópicos; son la zona tórrida, las dos zonas templadas y las dos glaciales; desde el punto de vista de la duración relativa de los días y las noches, podemos distinguir las zonas terrestres del modo que sigue:

La zona tórrida y las dos zonas templadas comprenden todos los lugares de la Tierra en que la duración del día y de la noche sumadas, dan siempre un total igual á la duración del día solar.

Las zonas glaciales comprenden las regiones en que la duración ó período del día y la noche, en conjunto, superan á la duración del día solar, pero con tanto exceso, que puede ser éste hasta de un año entero.

Consideremos, para comprender bien estos fenómenos, ante todo, la Tierra al principiar el año astronómico, es decir, en cualquiera de los equinoccios.

En este momento se encuentra el Sol en el plano del ecuador; el hemisferio iluminado que le presenta la Tierra y el hemisferio oscuro de la parte opuesta se hallan separados por un círculo máximo, que pasa precisamente por ambos polos comprendiendo el eje de rotación (fig. 110). Este círculo divisorio de la luz y la sombra se confunde en este momento con uno de los círculos meridianos terrestres, cortando todos los paralelos en dos partes iguales.

En virtud de la rotación diurna, todo punto de un paralelo cualquiera describe, pues, el día del equinoccio, la mitad de su circunferencia á la luz del Sol y la otra mitad en obscuridad completa. El día es igual á la noche para todos los habitantes de la Tierra y en todas latitudes. Por tal circunstancia, se da el nombre de equinoccio á esta situación particular de la Tierra en su órbita. El día del equinoccio, ya vernal, ora de otoño, el plano del ecuador prolongado, pasa precisamente por el centro del Sol, que en la figura se indica hacia la derecha; ambos polos son simétricos respecto del luminar del día; en esta época, por

lo tanto, la curva aparente que el Sol describe en el cielo, es el plano mismo del ecuador terrestre, que en todos los horizontes que podemos imaginar se halla dividido por el horizonte mismo, en dos partes iguales, una sobre él y debajo la otra, siendo igual también el tiempo que tarda el Sol en recorrer la mitad superior y la inferior; por manera, que el día y la noche tienen 12 horas tanto el uno como la otra, y esto, repetimos, para todos los habitantes del globo.

Sigamos nuestro estudio y consideremos ahora de qué modo varían los días y las noches en una latitud determinada, por ejemplo, en un punto de la zona templada del hemisferio boreal. Desde el equinoccio de primavera, y á causa del paralelismo del eje de la Tierra y de la inclinación constante del globo sobre el

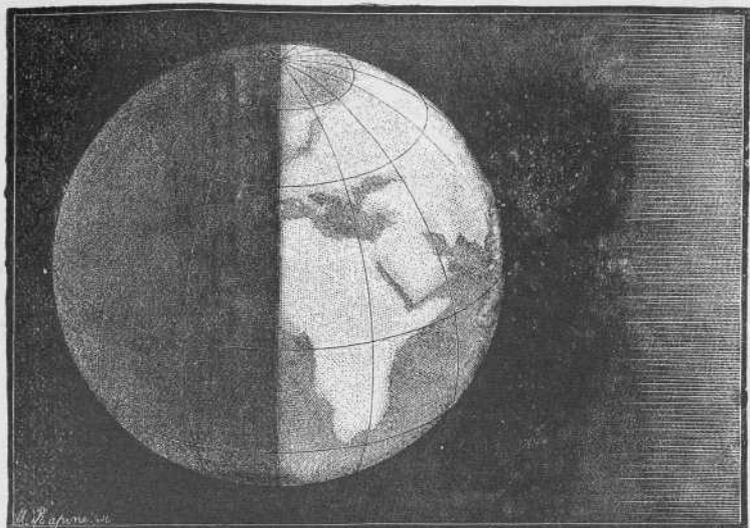


Fig. 110. — La Tierra en el equinoccio de primavera: igualdad del día y de la noche

plano de la eclíptica, comienza el círculo de separación entre la luz y la sombra á apartarse de los polos, dividiendo cada paralelo en dos porciones desiguales; el polo boreal se halla constantemente bañado por la luz del Sol, mientras que el opuesto, el austral, permanece en la obscuridad. La duración del día aumentará, disminuyendo la de la noche, siendo su diferencia tanto más considerable, cuanto mayor sea la distancia que medie entre el círculo de iluminación y el polo boreal. Las noches acortan, pues, y los días se alargan incesantemente, hasta llegar al solsticio de verano. Todo lo que hemos dicho ha de entenderse para nuestro hemisferio, pues en el opuesto sucede lo contrario, y allí llaman otoño á la primavera y verano al invierno, como explicaremos más adelante.

Al llegar la Tierra al solsticio de verano, el 21 de junio (fig. 111), el círculo de separación de la luz y la sombra llega á los puntos más distantes del polo boreal; entre el solsticio de verano y el equinoccio de otoño, ocupa la Tierra, respecto del Sol, una serie de posiciones idénticas á las que acabamos de relatar,

pero de inverso orden; los días, más largos que las noches, comenzarán á acortar hasta que llegue el momento del nuevo equinoccio, en que se repetirá el fenómeno de ser igual la noche al día, en cuanto á su duración; pero ahora será el polo austral de la Tierra el que parecerá inclinarse cada vez más hácia el Sol, disminuyendo el arco diurno y aumentando de valor el de las noches; éstas, más largas que los días, crecerán sin cesar, alcanzando su mayor duración en el solsticio de invierno, para decrecer inmediatamente hasta el equinoccio de primavera.

Las variaciones que acabamos de estudiar son comunes á todos los puntos de la Tierra, comprendidos entre los círculos polares, esto es, que tienen lugar en las zonas tórrida y templada; pero las diferencias varían con la latitud, siendo tanto más sensibles cuanto mayor es esta coordenada, ó de otro modo, cuanto más se aleja uno del ecuador. Estas desigualdades se explican, por otra parte, por las variaciones de la altura meridiana del Sol sobre un horizonte dado, puesto que la amplitud del arco diurno que la rotación terrestre hace recorrer al Sol en la apariencia, depende precisamente de esta altura. En el solsticio de verano, hacia el 21 de junio, la altura meridiana del Sol llega á su máximo, para el horizonte de un lugar situado en el hemisferio Norte; también es ésta la época del día más largo, ó mejor dicho, y siguiendo nuestra convención, del día natural más largo, y por lo tanto de la noche más corta.

Entre el solsticio de verano y cada uno de los equinoccios, la altura meridiana del Sol crece durante la estación de primavera, y disminuye durante la de otoño, y por lo tanto, los días alargan primero, para decrecer después. Por último, en el solsticio de invierno, hacia el 21 de diciembre, la altura meridiana del Sol sobre el horizonte llega á su menor límite posible, siendo ésta la época de la noche de mayor duración y del día más corto.

Si en vez de considerar un punto del hemisferio boreal, é insistimos en esto por su mucha importancia, tratamos de un horizonte del hemisferio austral, la marcha de los fenómenos será idéntica, pero en épocas del año que correspondan á posiciones de la Tierra en su órbita, diametralmente opuestas. La duración máxima del día ocurrirá en el solsticio de invierno, y la más corta en el solsticio de verano.

Veamos ahora cómo se manifiestan estas variaciones en algunos puntos determinados y particulares del globo, y á qué clase de fenómenos dan lugar.

La duración de los días y las noches son iguales en el ecuador durante todo el año, midiendo 12 horas el período de luz y otras 12 el de obscuridad. Y esto depende de que el círculo máximo del ecuador se encuentra siempre dividido en dos partes iguales, por el círculo que separa el hemisferio iluminado del obscuro; el arco diurno y el nocturno presentan una amplitud igual, sea cual fuere la altura meridiana del Sol. En la época de los equinoccios, describe el Sol, para los puntos situados en el ecuador, un círculo máximo que pasa por los puntos Este y Oeste y por el cenit; de suerte que el Sol nace, salvo la ecuación de tiempo, á las seis de la mañana, marcando en el horizonte el verdadero punto del Este, se eleva gradualmente hasta el cenit adonde llega á las 12, y comienza á descender poniéndose á las 6 horas, por el Oeste precisamente. Este fenómeno es común á todas las regiones de la Tierra situadas entre el ecuador y ambos tró-

picos hasta la latitud del $23^{\circ} 27'$. En efecto, el eje de rotación de la Tierra está inclinado sobre el plano de la eclíptica, precisamente esta misma cantidad. Cuando en virtud de su movimiento de traslación alrededor del Sol, llega la Tierra á cualquiera de los solsticios, el radio que une el centro de ambos astros pasa, precisamente, por un punto de alguno de los trópicos y coincide con la vertical del lugar; así, que los habitantes de los países situados bajo el trópico de Cáncer, ven el Sol en su cenit al mediodía del solsticio de verano, de suerte que á las 12 no proyectan sombra hacia ningún lado, sino que ésta cae exactamente bajo sus plantas. Otro tanto puede decirse de los habitantes del trópico de Capricornio, en el solsticio de invierno.

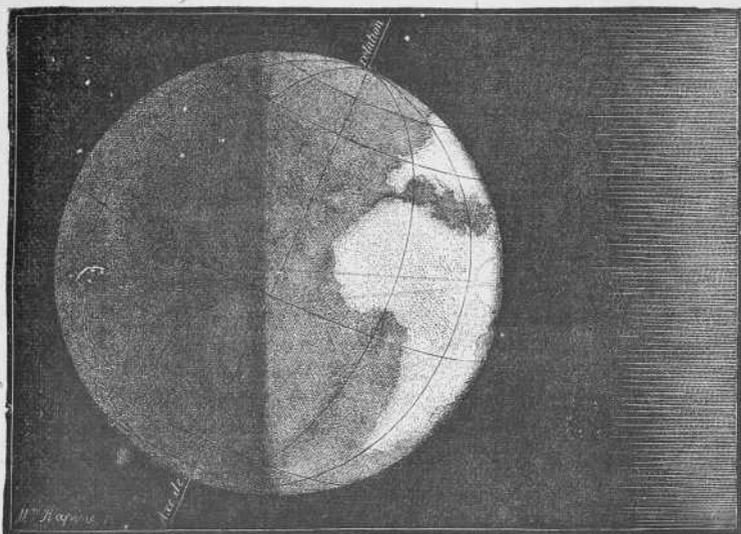


Fig. III. — La Tierra en el solsticio de verano: desigualdad de los días y las noches

Entre el ecuador y los trópicos, es á saber, en toda la zona tórrida, se presenta la misma circunstancia dos veces al año; una cuando el Sol camina hacia el trópico de Cáncer, y otra, al dirigirse al de Capricornio; en este trayecto ó excursión llega un instante en que la altura meridiana del Sol vale 90° , luego ha de encontrarse en el cenit de los lugares indicados; pero entre estas dos épocas y uno de los solsticios, llega el Sol á estar al mediodía hacia el Norte de la vertical, y en el resto del año hacia el Sur; los habitantes de la zona tórrida ven, pues, su sombra meridiana proyectada unas veces hacia el polo y otras hacia el ecuador, es decir, al Norte y al Sur de sus horizontes.

Consideremos ahora lo que ocurre en los círculos polares, que distan del polo tanto como los trópicos del ecuador, esto es, $23^{\circ} 27'$.

Desde el equinoccio hasta el solsticio crece el día sin cesar, lo mismo en este paralelo que en los demás de la Tierra, pues ya sabemos que esto es común; pero en el solsticio, la luz del Sol alcanza á todo el paralelo, por manera que en

este día permanece el astro sobre el horizonte durante veinticuatro horas seguidas. Lo contrario ocurre precisamente en el círculo polar del hemisferio opuesto, cuya noche tiene de duración veinticuatro horas, el día del solsticio de verano para nosotros.

Más allá de los círculos polares, en las zonas llamadas glaciales, son grandísimas las variaciones de la duración de los días y las noches; á partir del equinoccio de primavera, por ejemplo, un observador situado en el polo vería salir el Sol sobre el horizonte, dar cada veinticuatro horas una vuelta completa sin

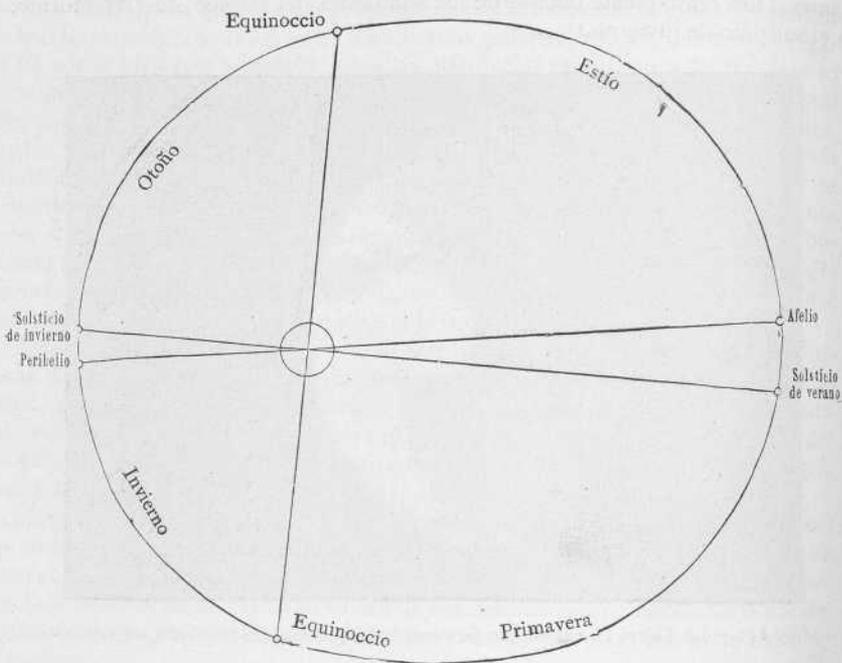


Fig. 112 - Desigualdad de duración de las estaciones

ponerse, y elevarse poco á poco hasta alcanzar su altura máxima á los tres meses, el día del solsticio de verano; desde esta época, comienza á descender, describiendo en sentido inverso una especie de espiral, hasta que llega á ocultarse tres meses después; por manera que ha permanecido sobre el horizonte seis meses seguidos.

En estas heladas comarcas luce, pues, el Sol, cuando para nosotros es noche, y así llaman los viajeros el Sol de media noche al paso del astro por el meridiano inferior del lugar en que se encuentran. Para ver el Sol de media noche, no es necesario llegar hasta el mismo círculo polar, pudiéndose disfrutar de este espectáculo extraño en las regiones septentrionales de la península escandinava. Algunos viajeros, principalmente ingleses, aguardan el paso del llamado Sol de media noche para hacer un agujero en el sombrero, por medio de los

rayos solares concentrados en él por un cristal de aumento, y después de haber obtenido un certificado del alcalde del pueblo, para hacer constar la autenticidad del hecho, vuelven tan ufanos á su país enseñando con orgullo la perforada prenda.

Claro está que, mientras el Sol iluminaba durante seis meses consecutivos los desiertos boreales, hallábase el polo austral sumergido en la obscuridad. Terminaremos este estudio de las variaciones que ofrecen las duraciones relativas de los días y las noches, presentando varios cuadros con la duración de los días más largos y cortos del año en diversas latitudes.

| Latitud | Día más largo | Día más corto | Diferencias |
|------------------|---|---|--|
| 0° ecuador | 12 ^h 0 ^m 0 ^s | 12 ^h 0 ^m 0 ^s | 0 ^h 0 ^m 0 ^s |
| 5 | 12 17 24 | 11 42 36 | 34 48 |
| 10 | 12 5 7 | 11 24 53 | 1 10 14 |
| 15 | 12 53 25 | 11 6 35 | 1 46 50 |
| 20 | 13 12 41 | 10 47 19 | 2 25 22 |
| 23° 27' trópicos | 13 26 45 | 10 33 15 | 2 53 30 |
| 25 | 13 33 23 | 10 29 37 | 3 6 46 |
| 30 | 13 56 4 | 10 3 56 | 3 52 8 |
| 35 | 14 21 30 | 9 36 30 | 4 42 0 |
| 40 | 14 50 49 | 9 9 11 | 5 41 38 |
| 45 | 15 25 44 | 8 34 16 | 6 51 28 |
| 50 | 16 9 7 | 7 50 53 | 8 18 14 |
| 55 | 17 6 21 | 6 53 39 | 10 12 42 |
| 60 | 18 29 49 | 5 30 11 | 12 59 38 |
| 65 | 21 8 7 | 2 51 53 | 18 16 14 |

En el hemisferio boreal, ya sabemos que permanece el Sol sin ponerse en las latitudes superiores á los círculos polares, durante largo tiempo, como demuestra este otro cuadro que sirve de complemento al anterior.

| Latitud | Sol sobre el horizonte | Sol bajo el horizonte |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 66° 33' círculo polar | 0 ^h 24 ^h | 0 ^h 24 ^h |
| 70 | 64 10 | 60 13 |
| 75 | 104 6 | 97 9 |
| 80 | 133 14 | 126 12 |
| 85 | 160 16 | 153 4 |
| 90 | 186 10 | 178 20 |

En el hemisferio austral sucede lo contrario, y los días y las noches extremas de los países circumpolares son, respectivamente, más cortos y más largas que en el boreal.

En el cuadro siguiente se presentan las mismas duraciones, calculadas de grado en grado, para los lugares cuyas latitudes son iguales á las de las principales regiones de España y Portugal, advirtiéndose, por más que parezca excusado, que las diferencias en longitud no han de estimarse, pues para un mismo para-

lelo sirven igualmente en todos los meridianos los números que se insertan, los que sólo son aproximados.

| Latitudes | Día más largo | Día más corto | Diferencias |
|-----------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 36° | 14 ^h 27 ^m | 9 ^h 33 ^m | 4 ^h 54 ^m |
| 37 | 33 | 27 | 5 6 |
| 38 | 39 | 21 | 5 18 |
| 39 | 47 | 13 | 5 34 |
| 40 | 51 | 9 | 5 42 |
| 41 | 58 | 2 | 5 56 |
| 42 | 15 4 | 8 56 | 6 8 |
| 43 | 10 | 50 | 6 20 |
| 44 | 18 | 42 | 6 36 |

Estas tablas se han calculado sin tener en cuenta, ni la refracción atmosférica que da mayor duración al día, ni el semidiámetro aparente del Sol; por tal motivo parece lucir este lumínar sobre el horizonte de un punto, más espacio que el que marca la tabla; insertamos otro estado de las correcciones que deben aplicarse para obtener la duración total ó intervalo de tiempo en que los rayos del Sol iluminan los varios horizontes de España.

| Latitudes | Adición al día más largo | Adición al día más corto | Adición al día medio |
|-----------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 36° | 9 ^m 45' | 9 ^m 36 ^s | 8 ^m 22 ^s |
| 37 | 56 | 46 | 28 |
| 38 | 10 7 | 57 | 35 |
| 39 | 17 | 10 9 | 43 |
| 40 | 27 | 21 | 53 |
| 41 | 40 | 33 | 9 0 |
| 42 | 54 | 47 | 8 |
| 43 | 11 9 | 11 00 | 18 |
| 44 | 25 | 17 | 25 |

Por medio del cuadro anterior puede averiguarse de un modo bastante aproximado la duración máxima, mínima y media de los días en diversos puntos de España.

No concluiremos, ya que hemos hablado de este asunto, sin completarlo dando algunas tablas de los crepúsculos; como la duración de la noche comprende también la de los crepúsculos matutino y vespertino que prolongan la claridad del día, sucede que en latitudes como la de París, y desde luego en las de Amsterdam, Londres y Berlín, puede decirse que el día de solsticio de verano no hay noche cerrada, pues cuando se van perdiendo los últimos destellos crepusculares de la tarde ya apuntan por el Oriente los tímidos rayos de la nueva aurora.

Se conocen dos clases de crepúsculos: el astronómico y el civil; comienza el primero cuando por la mañana la luz del alba hace desaparecer las estrellas más

débiles y pequeñas, y por la tarde termina cuando aparecen estas mismas estrellas; se admite, generalmente, que este crepúsculo empieza por la mañana y concluye por la tarde, cuando el Sol se halla á 18° bajo el horizonte. El crepúsculo civil es mucho más corto y su principio y fin se marcan del mismo modo que el anterior, pero tomando como medida las estrellas más brillantes; cesa al llegar el Sol á estar 6° bajo el horizonte.

CREPÚSCULO ASTRONÓMICO

| Latitud | Crepúsculo en el solsticio de verano | Crepúsculo en el solsticio de invierno | Crepúsculo al comenzar la primavera y el otoño |
|---------|--|--|--|
| 0° | 1 ^h 18 ^m 45 ^s | 1 ^h 18 ^m 45 ^s | 1 ^h 12 ^m 0 ^s |
| 5 | 19 39 | 18 33 | 12 17 |
| 10 | 21 25 | 19 9 | 13 9 |
| 15 | 24 28 | 20 28 | 14 38 |
| 20 | 28 1 | 22 37 | 16 48 |
| 25 | 33 26 | 25 41 | 19 45 |
| 30 | 40 58 | 29 52 | 23 37 |
| 35 | 51 41 | 35 25 | 28 39 |
| 40 | 2 8 35 | 42 46 | 35 10 |
| 45 | 39 29 | 52 36 | 43 39 |
| 50 | | 2 6 9 | 54 50 |
| 55 | | 25 44 | 2 10 24 |
| 60 | | 57 3 | 32 41 |
| 65 | | 4 3 23 | 3 7 57 |

Se notará que desde la latitud de 50° se han suprimido los crepúsculos del solsticio de verano, por la razón que dimos antes, que desde el paralelo 48 se unían en ese día el crepúsculo de la tarde con el de la mañana, durando, por consiguiente, todas las horas de la noche.

CREPÚSCULOS CIVILES

| Latitud | Crepúsculo en el solsticio de verano | Crepúsculo en el solsticio de invierno | Crepúsculo al comenzar la primavera y el otoño |
|---------|--|--|--|
| 0° | 0 ^h 26 ^m 10 ^s | 0 ^h 26 ^m 10 ^s | 0 ^h 24 ^m 0 ^s |
| 5 | 26 22 | 26 14 | 24 5 |
| 10 | 26 46 | 26 32 | 24 22 |
| 15 | 27 28 | 27 6 | 24 51 |
| 20 | 28 30 | 27 56 | 25 33 |
| 25 | 29 54 | 29 7 | 26 29 |
| 30 | 31 49 | 30 42 | 27 44 |
| 35 | 34 25 | 32 50 | 29 19 |
| 40 | 38 0 | 35 40 | 31 22 |
| 45 | 43 12 | 39 31 | 34 0 |
| 50 | 51 22 | 45 5 | 37 26 |
| 55 | 1 6 30 | 53 35 | 42 0 |
| 60 | 58 33 | 1 8 35 | 47 16 |
| 65 | | 1 48 36 | 57 17 |

En el movimiento anual de la Tierra, conserva su eje la misma dirección, y como si no existiera dicho movimiento de circuito, y sigue paralelo á sí propio y dirigido siempre al mismo punto evanescente en la esfera de las estrellas fijas. Esto es lo que da origen á la variedad de las estaciones, como vamos á explicar, y al hacerlo nos desentenderemos de la elipticidad de la órbita, por una razón que luego se verá, y la supondremos en círculo, con el Sol en el centro.

Por lo que llevamos dicho sabemos que el año se divide en cuatro estaciones, que separan entre sí los dos equinoccios y los dos solsticios.

La primavera comienza en el instante en que la Tierra atraviesa por el punto del equinoccio vernal, ó lo que es lo mismo, en el momento en que el Sol corta el ecuador y pasa del hemisferio austral al boreal; fenómeno que ocurre, por lo general, del 20 al 22 de marzo; termina la primavera cuando el Sol, en su movimiento ú ondulación ascendente, alcanza su mayor altura, lo que sucede el día del solsticio siguiente, hacia el 20 de junio, comenzando entonces el verano. Comprende esta estación todo el tiempo que el Sol emplea en volver descendiendo desde el punto máximo que alcanzó hasta el ecuador. Concluye el verano, principiando el otoño, en el momento del segundo equinoccio, es decir, cuando el Sol vuelve á cortar el ecuador en su camino hacia el hemisferio austral, el 22 ó 23 de septiembre. Finalmente, en la época del último solsticio, hacia el 21 de diciembre comienza la estación de invierno, que termina con el año astronómico, en el equinoccio de primavera.

El equinoccio y los solsticios dividen, como hemos visto, en cuatro partes desiguales la órbita de la Tierra; luego bastaría este solo hecho para que las estaciones no fuesen de igual duración; pero las diferencias se hacen más considerables, porque la Tierra se mueve con mayor velocidad sobre su órbita cuanto menos dista del Sol, lo cual ocurre, precisamente, cuando describe los arcos de menor amplitud, que son los de otoño y los de invierno. En el hemisferio boreal, pues en el austral se encuentran cambiadas las estaciones, constan aproximadamente:

| | |
|------------------------|---------------|
| La Primavera | de 92.9 días. |
| El Verano | de 93.6 » |
| El Otoño | de 89.7 » |
| El Invierno | de 89.0 » |

Por término medio el Sol permanece en el hemisferio boreal durante 186,5 días, y en el hemisferio austral 178,7 días solamente, lo que da una diferencia de 7,8 días á favor de las estaciones estivales. Esta desigualdad de las estaciones depende de que la órbita terrestre no es circular como supusimos al principio de este párrafo, sino elíptica, ocupando el Sol uno de sus focos. Por otra parte, el eje mayor de la eclíptica no pasa precisamente por los solsticios; en la fig. 112 se han exagerado las proporciones expreso, para que se comprenda mejor que el invierno es la estación más corta y el verano la más larga, siendo intermedias las duraciones de las otras dos, con predominio, no obstante, de la primaveral.

No son sólo las estaciones divisiones naturales del año astronómico, y se las considera también, y aún con más frecuencia, como períodos que poseen caracteres distintivos, desde el punto de vista de la temperatura, en las varias regiones

de la Tierra. En el hemisferio boreal el invierno es la estación de los fríos y el verano la del calor, formando la primavera y el otoño dos períodos medios que podemos llamar templados.

Debemos tener siempre muy presente que lo contrario tiene lugar en el hemisferio austral, por lo menos en cuanto á la acción exclusiva y directa que los rayos solares ejercen en la temperatura; de esto hablaremos en seguida. En las regiones terrestres situadas en el hemisferio opuesto al que nosotros habitamos, la primavera y el verano son las estaciones del frío, y el otoño é invierno las de los grandes calores. Para darnos cuenta mejor del cambio ú oposición de las estaciones en ambos hemisferios, examinemos someramente las causas astronómicas de las variaciones de la temperatura.

El globo terrestre, considerado en conjunto ó en totalidad, debe recibir del Sol una cantidad de calor que depende sólo de la distancia que media entre ambos astros, distancia que sabemos es variable. Al estar la Tierra en su perihelio debe alcanzar su máximo la cantidad de calor que recibe, y su mínimo en la posición opuesta, ó sea en el afelio; y si se calcula en qué relación varían las intensidades según la ley física que dice que el calor decrece en razón inversa del cuadrado de las distancias, hallaremos los números 1072 y 941 que representan las intensidades respectivas del calor que recibe la Tierra el 1.º de enero y el 1.º de julio. Entre estas épocas la misma cantidad pasa por todos los valores comprendidos entre los dos números citados, á medida que varían las distancias del Sol á nuestro planeta; y como el eje mayor de la órbita terrestre, ó eclíptica, divide esta curva en dos partes casi iguales que la Tierra recorre en períodos semejantes, resulta que nuestro globo recibe iguales porciones de calor durante las dos mitades en que dividimos el año.

De otro lado, demuestran las observaciones que la temperatura media de la Tierra es casi constante, sin que haya variado de un modo sensible desde hace miles de años, lo cual nos obliga á admitir que nuestro globo pierde anualmente por irradiación hacia el espacio infinito todo el calor que recibe del Sol.

No bastan las variaciones de las distancias entre el Sol y la Tierra para explicar los grandes cambios que experimenta la temperatura de un lugar señalado en distintas épocas del año, ni la desigual distribución del mismo elemento en diversas latitudes. Dos causas principales determinan la intensidad del calor que el Sol irradia hacia un punto dado de la superficie del globo y de donde resulta la temperatura media de un día en una época determinada. En primer lugar, la altura meridiana á que se eleva el Sol sobre el horizonte; luego, la duración del día natural ó intervalo de tiempo que el mismo astro emplea en recorrer su arco diurno. La física nos enseña que si una superficie se halla expuesta á un foco calorífico cualquiera, la intensidad del calor incidente es tanto más considerable cuanto con menor oblicuidad sea herida por los rayos caloríficos; en otros términos, un cuerpo recibe más calor si los rayos caen sobre su superficie perpendicularmente, y menos, si los recibe bajo un ángulo cualquiera. Así, pues, al salir el Sol, recibe la superficie del suelo la menor cantidad de calor, caldeándose progresivamente, á medida que el movimiento diurno, elevando el disco solar, hace que disminuya la oblicuidad de los rayos. Al mediodía alcanza su máximo el calor recibido, que de seguida decrece hasta la hora de la postura ú ocaso.

Comparando, desde el punto de vista de la oblicuidad de los rayos solares, dos días escogidos en diferentes épocas del año, se ve que la cantidad de calor que se recibe en un lugar determinado, en cualquiera de estos días, depende de la altura á que el Sol haya llegado al cruzar el meridiano, altura que, como sabemos, varía con las estaciones, aumentando progresivamente desde el equinoccio de primavera hasta el solsticio de verano, para disminuir del mismo modo, desde esta fecha, hasta el equinoccio de otoño y desde el equinoccio de otoño hasta el solsticio de invierno, en que obtiene su valor mínimo, comenzando entonces á pasar, en aumento, por los mismos valores que en el otoño, hasta llegar de nuevo al equinoccio vernal.

También debemos recordar al lector que los rayos solares, antes de llegar al suelo, tienen que atravesar la atmósfera terrestre en todo su espesor, y que en este trayecto las capas gaseosas absorben el calor tanto más, cuanto mayor es su densidad.

Finalmente, la temperatura de un día depende también del tiempo que los rayos del Sol están ejerciendo su influjo sobre la atmósfera y la superficie terrestre; en una palabra, de la longitud del día. Ahora bien, esta duración, para un lugar dado, es tanto más considerable cuanto mayor elevación alcanza el Sol sobre el horizonte; por manera que esta tercera causa concurre con las dos anteriores para hacer más cálidas las estaciones de primavera y verano, y más frías las de otoño é invierno.

Pero no olvidemos ni un momento que lo contrario ocurre en el hemisferio austral del globo, toda vez que, en dos latitudes iguales y opuestas, las alturas meridianas del Sol varían en inverso sentido, de igual manera que las duraciones relativas de los días y las noches. El otoño y el invierno son, en los puntos situados al Sur del ecuador, las estaciones cálidas, y la primavera y verano las más frías.

Lo que acabamos de decir sirve para explicar las variaciones de temperatura en un lugar dado, y también para que se comprenda la distribución desigual del calor según las latitudes. La zona tórrida, comprendida entre el ecuador y los trópicos, abraza las regiones cuya temperatura media anual es más elevada y en las que al mismo tiempo presentan las estaciones un contraste menos acentuado, lo cual se comprende sin esfuerzo, considerando que durante todo el año conserva el Sol sus alturas meridianas y máximas. En esta región ó zona únicamente, como vimos antes, llega al cenit y lanza sus rayos á plomo ó verticalmente sobre el suelo; su altura meridiana mínima varía entre 66 y 43 grados, sin que nunca baje de este último valor.

En la zona templada son más considerables las diferencias que presenta la temperatura de las estaciones extremas. Hacia el solsticio de invierno obtiene el Sol una altura meridiana débil, al paso que en el solsticio de verano se eleva casi hasta el cenit; pero lo que más particularmente distingue esta zona, de la zona tórrida, es que la duración de los días, durante las estaciones invernales, es mucho más pequeña que la de los días de las estaciones estivales.

Las zonas glaciales, por último, son las que se hallan menos favorecidas por la naturaleza, desde el punto de vista de la temperatura; durante los interminables días de la primavera y del verano, los rayos solares hieren oblicuamente los

hielos y las nieves acumuladas durante las largas noches del otoño y el invierno, sin que basten á hacer habitables estas desiertas comarcas.

A primera vista pudiera creerse que las estaciones de primavera y verano habrían de ser idénticas, puesto que el Sol, para un lugar determinado, pasa por las mismas alturas meridianas, teniendo los días duraciones sucesivamente iguales, siendo aplicable también esta observación al otoño y al invierno. Sin embargo, la experiencia demuestra que la temperatura media del estío sobrepaja á la de la estación primaveral, y que los grandes calores ocurren en el verano y no durante el solsticio; el invierno también es más frío que el otoño, y las temperaturas más bajas que se registran no coinciden tampoco con la época del solsticio invernal. La explicación de estas desigualdades es muy sencilla. Fijémonos en un punto del hemisferio boreal; al comenzar la primavera, encuéntrase el suelo y la atmósfera enfriados por la estación precedente, y no principian á calentarse sino con lentitud; la acción de los rayos solares durante el día equilibra únicamente las pérdidas de calor producidas por la radiación nocturna. Poco á poco, sin embargo, va aumentando la temperatura hasta el solsticio, en cuya época, gracias á lo largo de los días, continúa el caldeo diurno, siendo superior á la irradiación de la noche, alcanzando su máxima elevación la temperatura hacia mediados de julio. Pero entonces, en virtud precisamente de este exceso de calor, aumenta la intensidad de la irradiación, y como la longitud de las noches aumenta también, principia á descender la temperatura. A partir del equinoccio de otoño, se restablece el equilibrio nuevamente; pero debido á la acumulación del calor durante las dos estaciones estivales, permanece más elevada la temperatura que la que correspondía á las fechas anteriores al equinoccio de primavera.

En el invierno sucede lo contrario; el hemisferio boreal se enfría con rapidez creciente, perdiendo más calor por irradiación que la que recibe del Sol, y como este fenómeno se prolonga después del solsticio de invierno, resulta que los fríos más intensos tienen lugar á mediados de enero. Por esta misma razón, en una localidad cualquiera, la temperatura máxima del día no es la de las doce ó mediodía, cuando el Sol alcanza su mayor altura meridiana, sino la de las dos de la tarde, y del mismo modo, la temperatura mínima ocurre por la madrugada.

Dijimos que el otoño y el invierno del hemisferio boreal, es decir, las estaciones más frías, correspondían á las distancias más cortas del Sol y la Tierra, y la primavera y verano á las más grandes. Lo contrario tiene lugar para el hemisferio austral, y por lo tanto, sus calores deberían ser más intensos y sus fríos más rigurosos; pero debemos tener presente que la mayor duración de estas dos últimas estaciones, comparada á la de las anteriores, compensa esta causa de desigualdad, resultando sólo una diferencia en la distribución del calor en las diversas épocas del año.

Sin embargo, en latitudes iguales, la temperatura media del hemisferio austral es inferior á la del boreal, según se deduce de largas y delicadas series de observaciones meteorológicas, confirmándose, por otra parte, la exactitud de este hecho por la desigual extensión de los mares helados alrededor de ambos polos; al paso que la barrera de hielo que impide acercarse al polo Norte tan sólo se extiende hasta el paralelo de 81° , en la zona austral se encuentran los mares so-

ludificados á una latitud mucho más baja y es imposible pasar del paralelo de 71° , esto es, que existe entre ambos límites una diferencia de 10° .

En las páginas anteriores dijimos que para determinar la posición de los diferentes lugares situados en el globo terrestre se había convenido en dividir su superficie por una serie de meridianos, que cortan el ecuador y todos los círculos que le son paralelos, en grados, minutos y segundos contados desde un origen común; en España el punto de origen es el meridiano que pasa por el Observatorio de Madrid para las cartas terrestres, y para las hidrográficas ó que usan los marinos, el meridiano que pasa por el Observatorio de San Fernando. Al indicar en qué meridiano se halla un lugar determinado, se enuncia su *longitud*,

que puede ser oriental ú occidental. Cada meridiano á su vez está dividido en grados, minutos y segundos, que se empiezan á contar desde el ecuador hacia los polos, y el número de grados, minutos, etc., comprendido entre el lugar dado y el ecuador, esto es, su *latitud*, completa los elementos de su posición, siempre que se indique si el punto está al Norte ó al Sur del ecuador, en una palabra, si su latitud es boreal ó austral.

Veamos ahora qué procedimiento se emplea para medir estas dos coordenadas; empecemos por la latitud.

Se demuestra fácilmente que la latitud de un lugar A es un ángulo precisamente igual á la altura angular del polo celeste (fig. 113) sobre el horizonte; la latitud Ae mide, en efecto, el ángulo AOe formado en el centro de la Tierra por la vertical ZAO de un lado, y de otro por el radio Oe del ecuador.

Ahora bien, este ángulo AOe tiene sus dos lados perpendiculares á las líneas PA y AH' , luego la latitud es igual al ángulo PAH' formado por estas líneas; y como este último ángulo tiene por lados la meridiana AH' del lugar y la línea que une el punto dado A con el polo celeste, no viene á ser otra cosa, en suma, que la altura angular del polo sobre el horizonte.

Así pues, medir la elevación del polo sobre el horizonte de un lugar dado, es medir la latitud del mismo lugar. Los astrónomos prefieren medir directamente el complemento de la altura del polo, es decir, el ángulo ZAP , al que dan el nombre de distancia cenital del polo, lo cual presenta la ventaja de que no hay que tener en cuenta la depresión de horizonte.

Las distancias cenitales se miden por medio del círculo meridiano ó del círculo mural, observando una estrella circumpolar e' (fig. 114) en el momento de su paso por el meridiano superior. El instrumento acusa entonces el ángulo ZOe ; observándola en su paso inferior e' tendremos el ángulo ZOe' . Como la estrella describe un círculo alrededor del polo, la distancia Pe es igual á Pe' , por manera que la línea OP ó eje del mundo divide el ángulo eOe' en dos

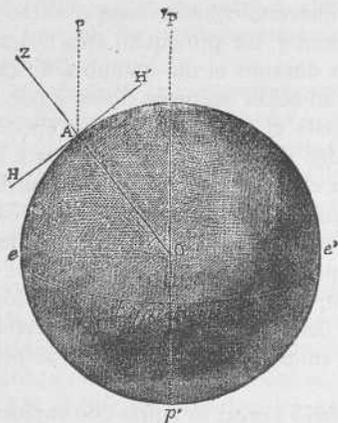


Fig. 113. — La latitud es igual á la altura del polo

partes iguales; en definitiva, la distancia cenital del polo es igual á la semisuma de las distancias cenitales de una estrella circumpolar en sus pasos superior é inferior por el meridiano.

Conocida esta distancia, se resta de 90° y se obtiene, por último, la altura del polo, ó como dijimos, la latitud del lugar.

Recordaremos que el día sidéreo empieza á contarse, ó tiene su origen, en el momento en que un punto dado del ecuador celeste pasa por el meridiano; en este momento un péndulo sidéreo bien arreglado debe señalar $0^{\text{h}} 0^{\text{m}} 0^{\text{s}}$.

Pero es evidente que si del meridiano en que nos encontramos, y donde está instalado el péndulo, nos transferimos á otro distinto, más occidental, por ejemplo, como de Barcelona á Madrid, la hora no será la misma, puesto que el movimiento diurno no hará que el segundo meridiano coincida con el círculo horario del punto de partida, sino cierto tiempo después del primero, intervalo que es tanto más considerable cuanto mayor es la diferencia de longitud entre los dos lugares; comprende tantas horas sidéreas como veces contenga 15° . Por ejemplo, cuando el péndulo sidéreo del meridiano de Madrid señala $0^{\text{h}} 0^{\text{m}} 0^{\text{s}}$, otro péndulo que esté situado en un lugar cuya longitud oriental sea de 15° , señalará 1^{h} ; otro á 30° , 2^{h} , y así sucesivamente hasta la longitud de 180° en que la hora que apunte el segundo péndulo diferirá en 12^{h} de adelante con el primero; si se aumenta la distancia, también sigue creciendo la hora en igual proporción, pero entonces cambia el sentido de la longitud, que se convierte en occidental, y para expresarla tenemos que restar de 24 la hora señalada y convertir el resto en grados.

De la uniformidad del movimiento diurno y de la definición que hemos dado del día sidéreo y de la longitud, resulta que la diferencia de tiempo sidéreo que existe en el mismo instante físico, entre dos lugares de la Tierra que no tengan igual longitud, da precisamente, convirtiendo esta diferencia en grados, minutos ó segundos, la diferencia de longitud de sus meridianos. Si uno de ellos se encuentra, por ejemplo, en el meridiano de Madrid, la diferencia de horas da la longitud del otro. La cuestión ó problema de las longitudes se reduce, por lo tanto, á conocer á la vez, en el mismo instante físico, la hora sidérea del meridiano de Madrid y la del punto cuya longitud se quiere averiguar.

Esto, que tan brevemente se enuncia, es de la mayor dificultad realizarlo en a práctica. Y la razón es que no estando señalados en la Tierra los meridianos, como tampoco lo están los paralelos, en este caso, lo mismo que en el de la latitud, nos vemos precisados á recurrir á marcas exteriores respecto de la Tierra, á saber, á los astros, tomándolos como objeto de nuestras medidas; mas con esta diferencia en ambos casos, que para observadores situados en distintos puntos

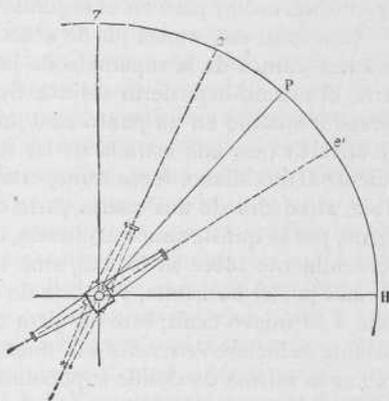


Fig. 114. — Medición de la distancia cenital del polo

de un mismo meridiano, ó que sólo difieran en latitud, la esfera celeste presenta diferente aspecto en todos los momentos; las partes de dicha esfera que sucesivamente se ofrecen á la vista en una rotación diurna completa, no son las mismas, y las estrellas comunes á entrambas describen círculos diferentemente inclinados á sus respectivos horizontes, cortados por éstos de diferente modo, y culminan á diferentes alturas. Por el contrario, los observadores situados en el mismo paralelo, ó que sólo difieren en longitud, tienen el mismo aspecto de la esfera celeste; las partes de ésta visibles para ambos son unas mismas, y las mismas estrellas describen círculos igualmente inclinados sobre el horizonte, y semejantemente divididos por él, y culminan á la misma altura. En el primer caso, hay alguna circunstancia en el aspecto de la esfera celeste, observado con esmero durante una rotación diurna completa, que indique una diferencia de localidad en el observador; pero en el segundo no hay absolutamente ninguna.

Con todo eso, nunca puede acaecer el que dos observadores situados en diferentes puntos de la superficie de la Tierra tengan á la vista en un mismo instante el mismo hemisferio celeste. Supongamos, para fijar las ideas, que un observador situado en un punto cualquiera de la línea equinoccial, en el momento de advertir que una estrella de las más lucientes llegaba al cenit, y por consiguiente al meridiano, fuese transportado repentinamente, en un momento indivisible, alrededor de una cuarta parte del globo en dirección occidental; y es evidente, por lo que llevamos explicado, que ya no tendría entonces la misma estrella verticalmente sobre su cabeza, sino que se le presentaría en el acto de nacer ó asomar por el horizonte, y habría de aguardar seis horas para que la estrella llegase á su nuevo cenit; esto es, para que la rotación de la Tierra de Occidente á Oriente le hiciese *retroceder* á la línea que une la estrella y el centro de la Tierra, que es la misma de donde suponemos que ha partido.

Según esto, la diferencia entre los dos casos puede presentarse de modo que suministre una clave para la solución astronómica del problema de la longitud. Cuando los puntos sólo difieren en latitud, la misma estrella culmina en un mismo *momento*, pero á diferentes alturas; y cuando sólo difieren en longitud, culmina á la misma altura, pero en distintos *momentos*. Luego, suponiendo que el observador tenga algún medio por el cual pueda averiguar con certeza el momento, ó el *tiempo*, del paso de una estrella conocida por su meridiano, y por el de otro observador, conocerá también la diferencia de longitud entre estos dos meridianos. Por ejemplo, si la misma estrella pasa por el meridiano de un lugar A, á cierto momento, y por el de B una hora de tiempo sidéreo más tarde, la diferencia de longitudes será, según se explicó antes, de 15° .

Como este asunto no deja de producir cierta confusión en los que no tienen práctica en el estudio, vamos á tratar de desarrollarlo para que se obtenga una perfecta inteligencia del principio en que se funda la solución del problema de hallar la longitud por observaciones astronómicas; es necesario que el lector se habitúe á distinguir el tiempo en abstracto, que es común á todo el Universo, y que por tanto se cuenta desde una época independiente de toda situación local, y el *tiempo local*, que se cuenta en cada paraje particular, desde una época ó instante inicial, determinadas por conveniencias que dependen de la misma localidad. El astrónomo, como ya sabemos, arregla su péndulo sidéreo, de modo que

indique $o^h o^m o^s$, cuando un punto determinado de la esfera celeste, que se llama el equinoccio, se halla en el meridiano de su observatorio; esta es la época de su tiempo sidéreo, que, como se ve, es enteramente local; y así, no basta decir que un suceso se verificó á tal ó cual hora de tiempo sidéreo, sino que es necesario particularizar la estación á que dicho tiempo sidéreo pertenece. Y otro tanto sucede con el tiempo medio ó común, que también tiene por época un acaecimiento local, como es el instante del mediodía medio, ó sea el promedio de todos los instantes, en que durante el año llega el Sol al meridiano de aquel paraje particular, á que pertenece dicho tiempo.

Así el astrónomo arregla su péndulo sidéreo, observando los pasos meridianos de las estrellas más notables y mejor conocidas, cada una de las cuales tiene en la esfera celeste un lugar determinado y sabido, con respecto á ese punto imaginario llamado el equinoccio; y anotando los momentos de sus respectivos pasos por medio de su péndulo, sabe el instante en que, como queda explicado, debió pasar el equinoccio. En dicho instante debiera su reloj haber señalado $o^h o^m o^s$; mas si así no fuese, conoce el error y puede corregirlo, y por la concordancia ó discordancia de los errores que cada estrella individualmente indica, puede averiguar si su reloj está arreglado, de modo que señale 24^h cabales en un período diurno, y dado caso de que no lo estuviese, podrá determinar cuánto varía diariamente, y llevarlo en cuenta. Así, pues, aun cuando su reloj tenga errores, y ciertamente que nunca dejará de tenerlos, ya por no señalar las horas cuando debiera, ya también por no corresponder exactamente sus 24^h á una rotación diurna de la Tierra, con todo eso, aplicándole el estado absoluto y movimiento (que es como técnicamente se denomina lo que un reloj atrasa ó adelanta en un momento dado, y las variaciones diarias que experimenta en su marcha) puede corregir sus indicaciones y determinar el tiempo sidéreo exacto que les corresponde, y que es propio de su localidad. Esta operación previa é indispensable en todo reloj es á la que se alude cuando se dice que se determina el *tiempo local*. Sin embargo, para simplificar la explicación, supondremos que el péndulo es un instrumento perfecto, ó lo que es equivalente, que se llevan en cuenta su estado absoluto y movimiento, siempre que se hace uso de sus indicaciones.

Pues supongamos ahora que dos observadores situados en puntos distantes entre sí, A y B, arreglan sus péndulos al tiempo sidéreo de sus respectivas estaciones, con total independencia el uno del otro; y es evidente que si uno de estos péndulos pudiera desmontarse sin alterar su marcha, y trasladarse al lado del otro, se hallaría, al compararlos, que discrepaban en una cantidad, precisamente, igual á la diferencia de sus épocas locales, á saber, en el intervalo de tiempo que tarda el equinoccio, ó una estrella cualquiera, en pasar desde el meridiano de A al de B; en otros términos, en su diferencia de longitud expresada en horas, minutos, etc., de tiempo sidéreo. Con un péndulo no puede hacerse esta traslación de un paraje á otro, sin desarreglarlo; pero sí se puede con un cronómetro ó buen reloj portátil; supongamos, pues, que el observador en B se sirviese de un cronómetro en lugar de péndulo, en cuyo caso pudiera ya, transfiriendo este instrumento al otro punto, conseguir una comparación directa de tiempos sidéreos, y obtener así la longitud contada desde A. Y aun cuando se valiese de un pé-

dulo, si primero lo comparase con un buen cronómetro, y después transportase este último para compararlo con el otro péndulo, se lograría el mismo fin, siempre que pudiera tenerse confianza en la marcha del cronómetro.

Este método parece el más cómodo y cumplido que pudiera desearse para averiguar las diferencias de longitud, si los cronómetros fuesen perfectos, pues un observador, provisto de uno de estos instrumentos y de un anteojo meridiano portátil, ó de algún medio equivalente para determinar el tiempo local en cualquier punto dado, viajando de lugar en lugar, y observando pasos meridianos de estrellas en cada uno de ellos, podría averiguar con toda la exactitud apetecible sus diferencias de longitud, contando siempre con que en el intermedio no se alterase el arreglo de su cronómetro, ni lo dejase parar por falta de cuerda. En tal supuesto, como se emplea el mismo cronómetro en todas las estaciones, si en una de ellas A señalase rigurosamente el tiempo sidéreo, en otra cualquiera B tendría de estado absoluto respecto del tiempo sidéreo de este punto una cantidad equivalente á la diferencia de longitudes entre A y B; en otros términos, la longitud de B respecto de A aparecería bajo la forma de estado absoluto del cronómetro respecto del tiempo sidéreo local de B. Si viajase, pues, hacia Occidente, le parecería que su cronómetro adelantaba constantemente, aun cuando su movimiento fuese nulo.

Supongamos, por ejemplo, que hubiese salido de A en el momento de estar el equinoccio en el meridiano, ó cuando su cronómetro señalaba las 0 horas, y que en 24 horas de tiempo sidéreo hubiese viajado 15° al Occidente hasta B; claro está que, en el momento de su llegada á este punto, volvería su cronómetro á señalar 0^h , mas el equinoccio no se hallaría en este su nuevo meridiano, sino en el de A, y tendría que aguardar una hora más para que llegase al de B. Llegado que fuese, su reloj no señalaría entonces las 0^h , sino la 1^h , y por tanto estaría adelantado 1^h respecto del tiempo local de B; lo contrario sucedería si viajase hacia el Oriente, y en este caso su reloj atrasaría 1^h .

Si suponemos que un observador sale de un punto cualquiera, y que viaja constantemente hacia el Occidente, para dar la vuelta al globo, y volver al punto de donde salió, resultará de este viaje un hecho singular, y es que se atrasará en la cuenta del tiempo en un día justo, de modo que anotará en su diario el de llegada como lunes, por ejemplo, cuando en realidad es martes. Y la razón es obvia: los días y las noches no provienen más que de las alternadas apariciones del Sol y de las estrellas, conforme la rotación de la Tierra va presentando sucesivamente, ya el uno, ya las otras, á la vista del observador; y cuantas vueltas éste diese alrededor de su centro, otros tantos días y noches contará; pues si él en su viaje completa la vuelta al globo en la dirección del movimiento giratorio, claro está que á su regreso habrá hecho realmente un giro más alrededor del centro, que si hubiera permanecido estacionario en un punto de la superficie terrestre, y un giro menos si toma la dirección opuesta; de forma que en el primer caso habrá presenciado una alternativa más del día y de la noche, y en el segundo una menos que si se hubiera dejado llevar, simplemente, por la rotación de la Tierra. Y como ésta se hace de Occidente á Oriente, se sigue que la dirección occidental de su viaje, por ser contrapuesta á la de rotación, debe hacerle perder un día, al paso que la dirección oriental conspirando con ella debe hacérselo

ganar; en el primer caso, todos sus días serán más largos que los de un observador estacionario, y más cortos en el segundo, todo lo cual experimentan así los navegantes que dan vuelta al globo.

También se sigue de aquí, que países distantes, situados bajo un mismo meridiano, diferirán precisamente en un día en su modo usual de contar el tiempo, según que los viajeros ó colonos hayan llegado á ellos navegando al Oriente ó al Occidente. Esto sucedía hasta hace poco tiempo en las islas Filipinas, pues siendo su diferencia de longitud con España de unas 8 horas y media, y habiendo sido descubiertas por navegantes que se dirigieron por el lado de Occidente, resultaba su fecha atrasada en un día; así que se contaba en Manila, por ejemplo, el 31 de diciembre de 1850, cuando en Europa estábamos en el 1.º de enero de 1851.

Otro caso curioso es el de un navegante que se encuentre á los 180º de longitud del punto de partida, pues contándose las longitudes por el Este ó por el Oeste, hasta el meridiano de ese valor, resulta que en un mismo día puede tener que apuntar dos fechas distintas, ó la misma fecha dos días seguidos.

Los medios principales que se emplean para determinar las longitudes son tres: el transporte de cronómetros, las señales luminosas y el telégrafo eléctrico.

Los marinos y viajeros se sirven casi exclusivamente del primero. Los cronómetros son unos relojes portátiles contruídos con gran primor, que en el momento de la partida se arreglan exactamente á la hora sidérea ó media del meridiano de origen, de Barcelona, por ejemplo; si el instrumento no sufre variación alguna durante el viaje, y se conoce con precisión su marcha, se podrá saber con su auxilio, en todo lugar y á todo momento, la hora de Barcelona. Supongamos que de este último puerto sale un buque para la Coruña y que al llegar, por medio de observaciones astronómicas, determina el viajero la hora local, que comparada con la de Barcelona, indicada por el cronómetro de á bordo, da la longitud de la Coruña respecto del meridiano de Barcelona, que se hallaría ser igual á 43^m 13^s, de modo que cuando en la Coruña fueran las 12 serían en Barcelona las 12^h 43^m 13^s. Desgraciadamente, para los progresos de la geografía y de la navegación, el cronómetro, á pesar de las mejoras notables y en verdad maravillosas que debe á la pericia de los artistas modernos, está todavía muy lejos de la perfección necesaria, para que se pueda tener en él una confianza completa; pues si bien puede conservar su uniformidad de marcha por algunas horas y aun días, sin embargo, se multiplican tanto en los viajes largos las probabilidades de error y los riesgos de accidentes, que no pueden menos de destruir toda la seguridad y confianza que aun el mejor sea capaz de inspirar. Es verdad que hasta cierto punto pudiera esto remediarse llevando varios consigo, y haciendo servir á los unos como de comprobantes de los otros; este método se ha empleado y se emplea siempre que no es posible recurrir á los otros dos indicados, mucho más perfectos. Recientemente determinó la longitud de la isla Mauricio lord Lindsay, que equipó á su costa, con una generosidad y amor á la ciencia de que por desgracia hay pocos ejemplos, una expedición para observar el paso de Venus, transportando nada menos que ochenta magníficos cronómetros.

El método de las señales luminosas es muy sencillo y de grande exactitud;

supongamos que A y B son dos observatorios, ó cualesquiera otros puntos en que se tengan los medios necesarios para determinar con exactitud sus respectivos tiempos locales, y supongamos además que sean visibles el uno desde el otro. Dando por supuesto el arreglo de los relojes ó péndulos sidéreos, hágase en A una señal cualquiera, con tal que sea repentina y bien marcada, como la llamarada de la pólvora al inflamarse, la explosión de un cohete, la extinción súbita de una luz brillante, ó alguna otra que sin riesgo de equivocación pueda verse á grandes distancias. El momento en que se hizo la señal debe anotarse por cada observador en tiempo de su respectivo péndulo ó cronómetro, como si fuese el paso meridiano de una estrella, ó cualquiera otro fenómeno astronómico; y corrigiendo luego la cantidad que atrase ó adelante el reloj en cada estación, se tendrá el tiempo local que respectivamente contaban en el momento de la señal. Por consiguiente, como ambos observadores deben, en razón de la transmisión casi instantánea de la luz, haber visto la señal en un mismo instante absoluto, hallarán, comparando sus observaciones, las diferencias de sus tiempos locales, y por tanto, las de sus longitudes. Si, por ejemplo, se observó la señal en A, á $5^h 0^m 0^s$ de tiempo sidéreo propio de dicha estación, y cual se ha deducido del tiempo que indicaba el reloj de A al verse allí la señal, corrigiéndolo de su estado absoluto; y en B se vió la misma señal á $5^h 4^m 0^s$, tiempo sidéreo de B, hallado igualmente corrigiendo el tiempo de la observación en el reloj de B de su estado absoluto; tendremos en consecuencia la diferencia de sus épocas locales de $4^m 0^s$, que es, asimismo, la diferencia de sus longitudes en tiempo, ó $1^o 0' 0''$ en ángulo horario. Con objeto de obtener mayor exactitud suelen hacerse varias señales, que se suceden á intervalos de antemano concertados, cada una de las cuales dará una comparación de tiempos, y su promedio ha de ser de más confianza que cualquiera comparación suelta. Así se consigue que el error cometido en apreciar el momento de la señal, ó en la comparación de los relojes, quede casi reducido á la nulidad.

Este método es necesariamente de un uso limitado, pues no es posible ver las señales sino de una porción circunscrita de la Tierra, y aunque hay manera de extenderlas más de lo que á primera vista pudiera creerse, colocando estaciones intermedias entre las dos principales, mientras más numerosas sean, más probabilidades hay de que el resultado se separe de la exactitud. Necesariamente, las distancias á que pueden verse las señales dependen asimismo de los accidentes del terreno interpuesto. En el mar, la explosión de los cohetes puede verse fácilmente á 12 ó 15 leguas; y en países montuosos, la llamarada que produce la pólvora al aire libre puede verse á distancias mucho mayores, si se elige un paraje á propósito para la exhibición de esta señal.

En la actualidad se prefiere, siempre que es posible, el empleo de las señales por medio del telégrafo eléctrico, que permite transmitir instantánea y automáticamente la hora exacta del péndulo de un lugar á otro, aunque sea á través de los mares. Así se ha determinado recientemente la longitud del Observatorio de Wáshington respecto del Observatorio de Greenwich. Los americanos suelen hallar las longitudes de sus ciudades, ó estaciones astronómicas, del modo siguiente. De antemano, convienen dos astrónomos en observar en sus respectivos anteojos meridianos los pasos de una serie de estrellas dadas; el astróno-

mo situado más al Este ve pasar primero que el otro las estrellas escogidas, y en el momento en que una de ellas corta el hilo número 1 de su micrómetro, da un golpe en la llave eléctrica que comunica con la batería de pilas y con su péndulo, y además con un aparato particular llamado cronógrafo, que se halla en la otra estación, más al Oeste. La corriente eléctrica hace que en el mismo instante se grave en ambas estaciones la señal dada, la cual se repite, al pasar la estrella por los hilos sucesivos, y cuando las demás estrellas vienen á su vez á presentarse en el campo del anteojo. De modo que la observación se registra al mismo tiempo en la estación del Este y en la del Oeste; pero el movimiento diurno hace que las mismas estrellas se presenten en el meridiano de este último observatorio, y entonces el segundo astrónomo manda también con la llave eléctrica las señales de los pasos, á la estación anterior, quedando en ambas grabados los momentos de las dos series de señales. Por este método se obtiene la diferencia de longitud de los dos puntos, independientemente del lugar tabular de la estrella y del estado absoluto del péndulo.

Claro está que todo esto se evitaría si hubiese en el cielo un reloj con su muestra y agujas, que señalase siempre la hora de un lugar determinado, pues se fijaría la de cualquier punto, inmediatamente que se conociese la hora que allí se contaba, ó su tiempo local, con sólo compararla con la de este reloj; y aun cuando con tal aspecto no lo vemos en el cielo, es lo cierto que de las posiciones de los astros deducen los astrónomos las diferencias de longitud, como si mirasen las manecillas de este reloj ideal que acabamos de indicar; pero la descripción de los procedimientos que se usan para este objeto no son de este lugar, por tratarse de un asunto largo y algo complicado.

CAPITULO V

LA LUNA

Aspecto de la Luna á la simple vista - Fases de la Luna: luz cenicienta. - Forma, distancias y dimensiones de la Luna. - Determinación de la distancia de la Luna. - Movimientos de la Luna. - Aspecto telescópico de la Luna. - Atmósfera lunar. - Mapas selenográficos; topografía lunar. - El mundo lunar; la noche y el día en su superficie.

En nuestro viaje por los espacios, hemos partido, por decirlo así, del Sol, foco y centro principal de todo el sistema planetario. Hablamos de las teorías sobre Vulcano; visitamos á Mercurio y Venus; recorrimos la Tierra toda, y llegamos ahora á un cuerpo celeste, bien distinto de los demás en cuanto á su situación y categoría. Los anteriores vimos que circulaban sólo alrededor del Sol; la Luna gira en torno de la Tierra, acompañándola también en su revolución alrededor del luminar del día. La Luna es, pues, el satélite de la Tierra, y se considera como planeta, pero planeta secundario.

Aunque podemos decir que el estudio de la superficie lunar tuvo principio al inventarse el telescopio, sin embargo, desde los primitivos tiempos trató el hombre de darse cuenta y de interpretar los diversos aspectos de la encantadora y misteriosa reina de la noche. Sin duda que los antiguos caldeos, egipcios, indos y persas, tendrían formadas sus hipótesis y teorías sobre la constitución física de la Luna, pero sus trabajos sobre este punto, como sobre tantos otros, han quedado sepultados en las ruinas de sus soberbias capitales; sabemos, sí, que conocían los movimientos de nuestro satélite con una precisión admirable, pero ignoramos las ideas que sustentaban sobre su composición.

Pasando en silencio las opiniones de varios filósofos y astrónomos poco conocidos, mencionaremos la hipótesis de Aristóteles, que consistía en suponer que las regiones iluminadas y oscuras de la Luna se producían por la reflexión de los océanos y continentes de nuestro planeta; y aquí debemos hacer notar qué ignorancia más completa revela esta teoría de las leyes de la reflexión de una parte, y de otra, de los movimientos de la Luna y de la Tierra, ó si se quiere, siguiendo á los ptolemáicos, del Sol; pues bien esté la Tierra fija ó en movimiento, bien camine por los espacios ó giren los cielos en torno suyo, es indudable que sus mares y continentes se presentan á la Luna de un modo que varía sin cesar. Es obvio, pues, que si la Luna fuese un espejo en el que se reflejasen los accidentes de la superficie de nuestro globo, el aspecto de la Luna habría de modificarse de hora en hora y de un día al siguiente. Y sin embargo, notorio es, aun para aquellos que sólo han observado la Luna á la simple vista, que la distribución y figuras de sus manchas permanece constantemente invariable, y aunque las fases modifican el tamaño total de la Luna, por supuesto en la aparien-

cia, la parte iluminada, ó visible desde la Tierra, siempre presenta el mismo aspecto.

Plutarco reconoció que el borde cóncavo de la Luna presenta unas irregularidades que deben atribuirse á la proyección de las sombras de las montañas, del mismo modo que el monte Athos el día del solsticio de verano, por la tarde,

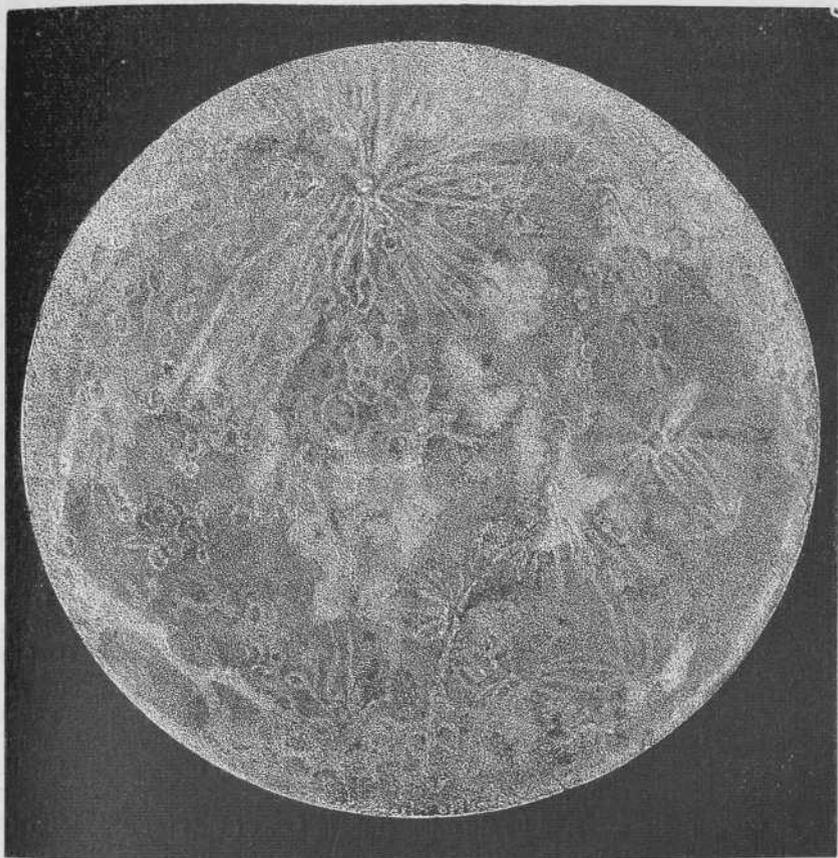


Fig. 115. - Luna llena

arroja su sombra sobre el mar de Tracia, que llega hasta el mercado de Myrina en la isla de Lemnos, distante unas treinta leguas.

Poco á poco se fué reconociendo la permanencia de las manchas de la Luna y la irregularidad de su superficie, y por analogía se dedujo que el globo lunar se hallaba como el de la Tierra, cubierto de mares y continentes. A algunos observadores poco inteligentes hubo de ocurrirse representar á su manera el aspecto de la Luna, y en los primeros mapas que se dibujaron de nuestra fiel com-

pañera, aparece ésta con ojos, boca y nariz, como si tuviese una fisonomía humana; otros creyeron distinguir en la disposición de las manchas la forma completa de un hombre con cabeza, brazos y piernas; en Francia hay aún muchas gentes que ven en la Luna (y buena vista se necesita para ver esto) la figura de Judas Iscariote, transportado á nuestro satélite en castigo de su enorme y repugnante crimen. Entre los campesinos alemanes es muy común la idea de que la Luna representa una doncella recostada, apacentando sus ovejas; los indos ven distintamente en la superficie lunar la imagen de un ciervo ó de un conejo, y de aquí viene, según los orientalistas, el nombre en sánscrito de la Luna, *mrigadhara*, que significa conductor de ciervo. De todas estas semejanzas, la que hay que reconocer como más fundada es la primera, pues no es posible negar que el parecido que ofrece la Luna llena con un rostro humano es muy singular. La figura 115 es una reproducción de una fotografía de la Luna llena, en la que se ha exagerado algún tanto el contraste entre las regiones iluminadas y las oscuras; pero, sin embargo, si se examina á la distancia de cuatro ó cinco metros y con una moderada atención y algún buen deseo, se verá aparecer la conocida cara con boca, nariz y ojos.

Refiere Humboldt en una de sus obras, que la antigua opinión de que la Luna era un espejo plateado prevalece hoy día entre los habitantes del Asia. «En una ocasión, dice, vi con asombro que un persa de Ispahán, persona bien educada, pero que seguramente jamás había leído ningún libro griego, al mirar las manchas lunares con un gran telescopio en París, exclamó: «Lo que vemos en la Luna »es sencillamente el mapa de la Tierra.»

Pero, dejando á un lado estos extravíos, ocupémonos del estudio de los movimientos aparentes de nuestro satélite.

La Luna, lo mismo que todos los astros, participa del movimiento diurno de la esfera estrellada; nace por el Oriente, se eleva en su curso majestuoso hasta que corta el meridiano, y comienza á descender ocultándose por el Oeste; pero además de este movimiento, debido á la rotación del globo terrestre sobre su eje, posee otro que le es propio, dirigido en sentido opuesto, esto es, de Occidente á Oriente, y tan rápido, que es fácil apreciarlo en el transcurso de algunas horas; este movimiento es, por lo tanto, análogo al que hemos visto que tiene el Sol á través de las constelaciones, pero mucho más fácil de determinar, pues siendo la luz de la Luna insuficiente para apagar por completo el brillo de las estrellas principales, basta que una noche nos fijemos, á una hora dada, en una estrella que se encuentre próxima al borde oriental de la Luna (fig. 116) y al cabo de poco tiempo veremos que la distancia entre ambos astros ha disminuído considerablemente; y si continuamos nuestra observación algunas horas más, aparecerá la estrella al otro lado de la Luna; luego ésta se ha movido en la esfera de los cielos en una dirección precisamente opuesta á la del movimiento diurno de que participan todos los astros.

Observando la Luna durante el curso completo de sus fases, se ve que da una vuelta entera al cielo en veintisiete días próximamente, esto es, en un intervalo algo menor que el de una lunación. La órbita aparente que de este modo describe nuestro satélite en la bóveda de los cielos, puede determinarse del mismo modo que la órbita aparente del Sol, es decir, señalando día por día la

posición que ocupa el centro de la Luna, en una carta ó globo celeste. De este modo se averigua que la órbita lunar puede representarse, aproximadamente, por una circunferencia de círculo máximo algo inclinada sobre el plano de la eclíptica, pero cuya inclinación varía de un mes á otro.

La Luna, como la mayor parte de los astros que componen nuestro sistema solar, tiene la forma de un esferoide; es opaca, y refleja la luz del Sol en la mitad de su superficie; hechos que demuestra una observación superficial. En efecto, á nuestra vista se presenta en las distintas épocas de su revolución, ora bajo la forma de un disco completamente iluminado, y por lo tanto, circular; ya como una hoz más ó menos aguzada, cuyo borde externo es un semicírculo, presentando el cóncavo la forma de una elipse; otras veces, por último, la vemos dicótoma, ó como una elipse imperfecta, nombre que dimos á Venus y á Mercurio, al presentar un aspecto análogo. Estas apariencias son, precisamente, las que

presentaría una bola, cuya periferia se iluminase de un modo sucesivo por una lámpara de situación variable respecto de la misma bola. Por otra parte, las observaciones demuestran que la Luna vuelve hacia nosotros siempre la misma porción de su disco, poco más ó menos, por lo que sería absurdo suponer, como los antiguos, que la mitad del astro fuese luminosa por sí misma y la otra mitad obscura. Por último, el estudio de las posiciones relativas del Sol, de la Tierra y de la Luna, nos demos-

trará bien pronto, y sin género alguno de duda, que el hemisferio luminoso de nuestro satélite es el que siempre se encuentra vuelto hacia el Sol, de donde resulta, con evidencia, que la Luna es un cuerpo opaco, cuya superficie refleja en el espacio los rayos del luminar del día. La circulación de la Luna alrededor de la Tierra explica perfectamente el curso de las fases, que todo el mundo conoce, pero que no podemos dispensarnos de describir.

Si examinamos la Luna con un telescopio ó antejo, en distintas épocas de su curso, observaremos que el semicírculo que forma el borde exterior está siempre terminado por una línea curva perfecta, mientras que la parte elíptica, es decir, la línea de separación de la luz y la sombra, aparece siempre irregular y como una sierra, cuyos dientes están formados por las desigualdades de la superficie, esto es, por las elevaciones y depresiones del suelo, cuyas partes salientes ó relieves se proyectan por la iluminación de los rayos solares: hacia los bordes, proyéctanse estas desigualdades, unas sobre otras, resultando el aspecto liso y uniforme que hemos indicado.

Vemos, por lo tanto, que si bien presenta la Luna la forma general de una esfera, esta esfericidad es, cuando menos, imperfecta, y análoga en este concepto á la forma del globo que habitamos.

En el disco de la Luna no se distingue el menor vestigio de aplanamiento polar, aunque uno de los diámetros de la parte visible termina casi en los polos de rotación. Por consideraciones teóricas se calcula que el globo de la Luna

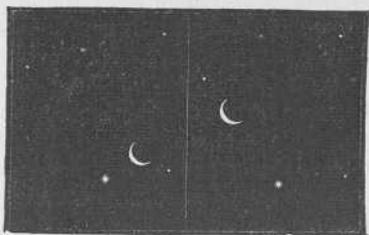


Fig. 116. — Movimiento propio de la Luna de Occidente á Oriente

se encuentra prolongado en la dirección de la línea que une su centro con el de la Tierra. Laplace atribuye á esta circunstancia, que es consecuencia de las leyes de la gravedad, la igualdad perfecta que existe entre la duración del movimiento rotatorio y el de traslación de que está animado nuestro satélite.

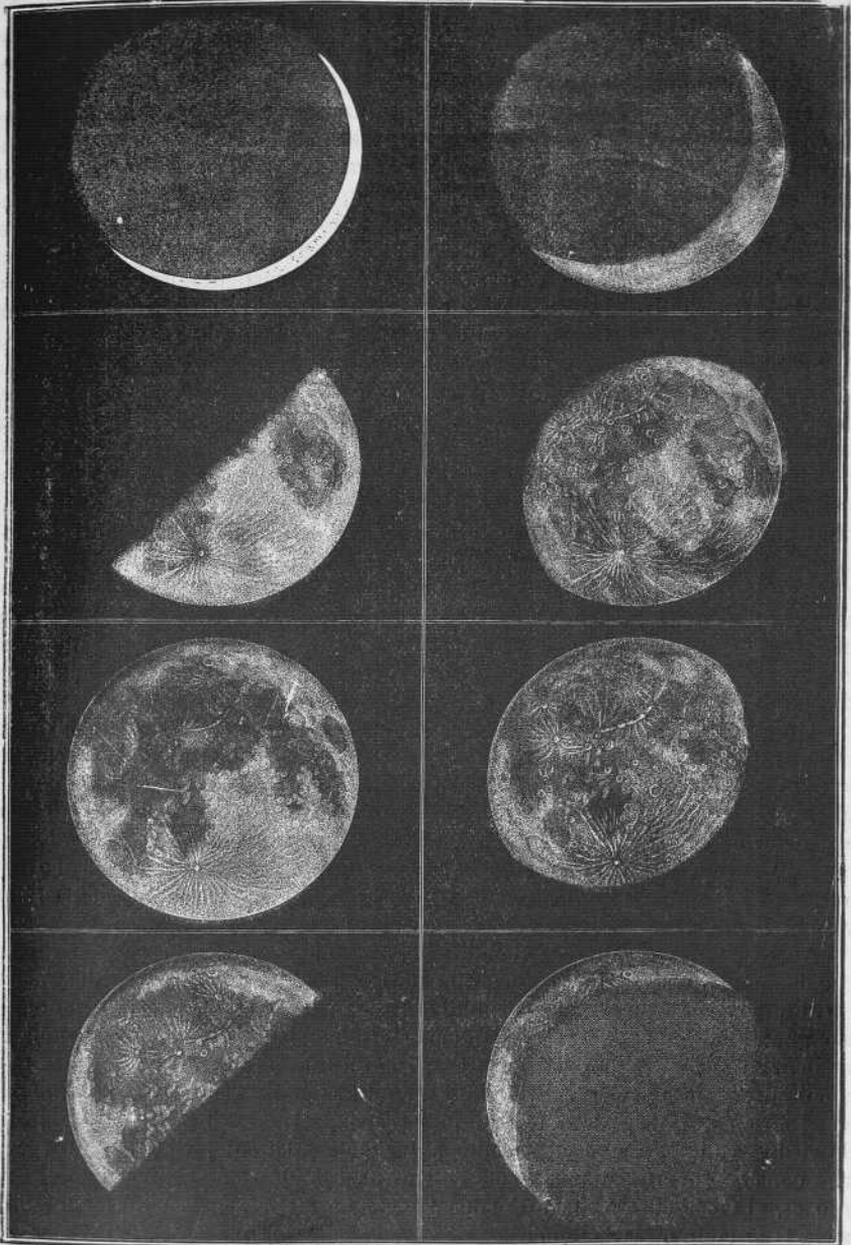
Sigamos el aspecto que ofrece la Luna en el curso de uno de sus períodos ó mes lunar, observando los diversos fenómenos que acompañan á cada una de sus fases.

Cuando por la tarde comienza la Luna á desprenderse de los rayos solares, aparece á nuestra vista como una falce muy delgada (véase la lámina adjunta) cuya convexidad circular se dirige hacia el Sol, y cuya concavidad, ligeramente elíptica, se presenta al Oriente; esta elipse y este círculo parece que se cortan en ángulo muy agudo, en dos puntos diametralmente opuestos, que se llaman cuernos; la línea recta que une los dos cuernos es un diámetro de la semicircunferencia de círculo, que termina la fase por el lado del Oeste. Lentamente se aproxima la Luna al horizonte en virtud del movimiento diurno, hasta que desaparece por completo.

La falce aumenta de espesor de un modo gradual en los días sucesivos, á medida que nos alejamos de aquel en que comenzó á dibujarse el contorno lunar sobre el fondo occidental del cielo, pero conservando siempre en sus dos límites las mismas formas geométricas circulares y elípticas; al cabo, cuando el astro se encuentra á una distancia angular del Sol, de 90° , su parte visible se termina al Occidente por un círculo, y al Oriente por una línea recta; en este día presenta la Luna la forma de un semicírculo, y por eso se llama á esta fase *primer cuarto*; en esta época pasa por el meridiano á eso de las seis de la tarde.

El día siguiente al del primer cuarto, la parte de la Luna visible desde la Tierra es mayor que un semicírculo; el borde oriental se presenta siempre en forma de círculo, y el opuesto pasa, de ser una línea recta, á un arco de elipse, pero con la particularidad que su parte cóncava se halla vuelta entonces hacia el Oeste. Aumenta gradualmente el valor de la fase de día en día, y cuando la Luna está en oposición con el Sol, cuando pasa por el meridiano á media noche, poco más ó menos, las dos porciones oriental y occidental del astro tienen exactamente la misma forma; estas dos partes son circulares y se dice que la *Luna está llena*. Inmediatamente después de la Luna llena, comienza el astro á perder una parte de su luz por el lado occidental de su disco, terminándose entonces hacia el Oriente por un círculo y al Occidente por una elipse.

El día del segundo cuarto ó segunda cuadratura, aparece iluminada por mitad; su parte oriental es circular, y la occidental se halla limitada por una línea recta; entonces pasa por el meridiano poco antes ó después de las seis de la mañana, y en seguida, á partir de esta época, que se llama también último *cuarto* ó *cuarto menguante*, se ahueca su fase; una línea curva elíptica, cóncava hacia el Occidente, limita la porción de la Luna visible desde la Tierra, presentando por el lado del Oriente la forma circular; el fenómeno se presenta en sentido inverso á lo que hemos observado durante el período de Luna creciente, es decir, entre la conjunción y la Luna llena. Por último, cuando el astro precede al Sol en su salida, pero por un espacio muy corto, tiene la forma de una falce muy delgada, en un todo semejante á la que distinguimos cuando principiamos



FASES DE LA LUNA

nuestra observación, con la diferencia, no obstante, de que se termina al Oriente por un círculo, y al Occidente por una curva ligeramente elíptica, cuya convexidad se dirige hacia el Oriente.

Después de esta época perdemos de vista por completo la Luna, sin que nos sea dable distinguirla ni de día ni de noche. En este momento ocupa nuestro satélite una posición en el cielo tan cercana al Sol, que, de una parte por hallarse envuelta en los resplandores solares, y de otra por volver hacia nosotros su hemisferio oscuro, nos es por completo invisible; un intervalo de dos á cuatro días transcurre desde la aparición de la Luna por la mañana hacia el Oriente y su reaparición por la tarde al Occidente, poco después de la postura del Sol. En la mitad de este período pasan el Sol y la Luna al mismo tiempo por el meridiano, poco más ó menos, y se dice entonces que hay *Luna nueva* ó *novilunio*.

La explicación de estos diversos y curiosos aspectos se halla fácilmente, considerando que la Luna es un cuerpo opaco y esférico, y que el Sol que la ilumina es también un cuerpo redondo muy distante de nuestro satélite. Aunque el diámetro solar es mucho más considerable que el de la Luna, ambos astros subtienden, aparentemente, diámetros angulares iguales, ó que se diferencian en muy poco, por manera que los rayos que parten de los bordes del Sol pasan rasando los bordes correspondientes de la Luna, formando un cono de escasa abertura, casi cilíndrico, cuyo eje será la línea que une el centro de los astros. En el cuerpo lunar, la línea de separación entre la sombra y la luz, es decir, la línea que divide la parte iluminada de la Luna, de la que permanece en la obscuridad, forma un círculo máximo de la Luna, cuyo plano es perpendicular al eje que acabamos de mencionar.

Un cuerpo esférico como la Luna, visto de lejos, de un punto de la Tierra, por ejemplo, se presentaría, dando por supuesto que brillase con luz propia, bajo la forma de un círculo cuya circunferencia sería la sección producida por un plano que pasase por el centro del astro, perpendicularmente á la línea que une este centro y el ojo del observador. Pero no hallándose todas las partes del hemisferio visible iluminadas por el Sol, resulta que el astro se nos presenta bajo formas variables y dependientes de las posiciones relativas del Sol, de la Luna y de la Tierra.

Acabamos de ver que la línea de separación de la sombra y la luz es un círculo máximo de la Luna; que para un observador situado en la Tierra, la curva que separa el hemisferio visible, del opuesto, es también un círculo máximo, contenido en un plano perpendicular al rayo visual que arranca del observador; este último plano debe cortar el hemisferio iluminado según un semicírculo máximo. Ahora bien, lo que distinguimos perpendicularmente lo vemos en su forma real, luego la porción iluminada de la Luna, situada en el hemisferio visible, se hallará siempre terminada por un semicírculo, luego la Luna parecerá constantemente circular hacia el lado por donde vienen los rayos del Sol, esto es, al Occidente en la primera parte de nuestra serie de observaciones, y hacia el Oriente en la segunda.

Examinemos ahora cómo debe terminarse la fase por el lado opuesto. En realidad, la línea terminadora ó línea de separación de la sombra y la luz en la

superficie de la Luna, es una circunferencia de círculo máximo, esta circunferencia estará cortada en dos partes iguales, por el plano que separa, para un observador terrestre, el hemisferio visible del opuesto. Dos circunferencias de círculo máximo se cortan siempre en la esfera en dos partes iguales, teniendo un diámetro común, que es el diámetro de la esfera; así, pues, la línea recta que une

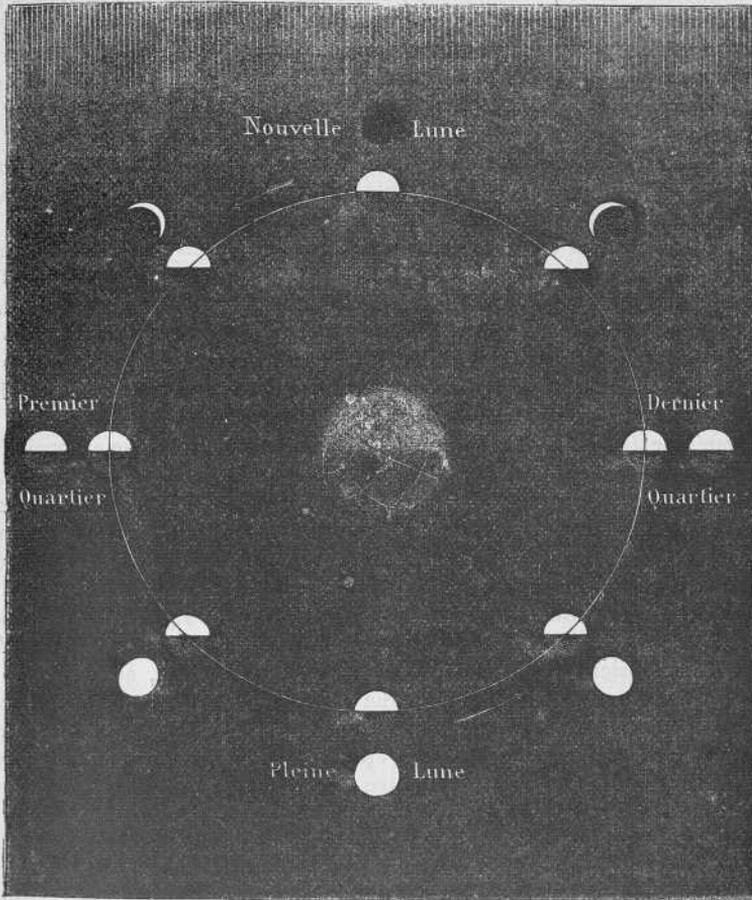


Fig. 117. — Órbita de la Luna; explicación de sus fases

los puntos en que se encuentran esta curva y la línea circular de la media Luna, en una palabra, la línea que une los dos cuernos, será un diámetro de la Luna; y como este diámetro está situado en el plano que separa el hemisferio visible del opuesto, es decir, en un plano perpendicular al rayo visual, se distinguirá en su verdadera magnitud. La observación de la línea de los cuernos permite siempre determinar exactamente el diámetro de la Luna y la posición de su centro.

Veamos ahora qué forma debe presentar la media Luna opuesta á la porción circular de la fase.

Un círculo visto oblicuamente tiene la forma de una elipse; un semicírculo aparecerá, en análogas condiciones, como una semielipse; la semicircunferencia de círculo pertenece á la línea de separación de la sombra y la luz, y está situada en el hemisferio visible, pareciendo, pues, elíptica, toda vez que la vemos siempre oblicuamente, excepto en los casos en que el ojo está colocado en el plano de esta circunferencia, pues entonces se verá bajo la forma de una línea recta, lo que ocurre el día en que la línea trazada del centro del Sol al centro de la Luna sea perpendicular á la línea que une el centro de la Luna y el lugar ocupado por el observador.

Antes de esta época estaba situado el observador al Oriente del plano que contiene la semicircunferencia del círculo, línea de separación de la sombra y la luz; esta semicircunferencia aparecerá, pues, bajo la forma de una elipse, cuya convexidad mire hacia Occidente. Después de la época en que esta semicircunferencia se presentó como una línea recta, el ojo se encuentra situado al Occidente del plano que la contiene, y la semielipse, bajo cuya forma aparece la semicircunferencia, dirigirá su convexidad hacia el Oriente. En fin, el día en que el hemisferio visible coincida con el hemisferio iluminado, la semielipse correspondiente á la separación de la sombra y la luz llegará á ser un círculo, y la Luna aparecerá igual por su Oriente y por su Occidente.

Después de estas explicaciones nos será fácil comprender que el movimiento propio de la Luna alrededor de la Tierra es el que produce el fenómeno de las fases. En efecto, supongamos por un momento que la Tierra está inmóvil, y examinemos qué aspectos debe presentarnos el globo lunar durante el curso de una de sus revoluciones en torno de nuestro globo. Principiemos considerando que la Luna se halle en la dirección de la línea que une el centro de la Tierra y el centro del Sol (fig. 117). En este caso vuelve hacia nosotros su hemisferio oscuro y es, por lo tanto, invisible; este es el momento de la *conjunción, novilunio ó Luna nueva*. En las posiciones sucesivas, se aleja la Luna del Sol, aumentando gradualmente la distancia angular que media entre ambos astros, y por consecuencia nos presenta porciones cada vez más considerables de su hemisferio iluminado: primero, una media Luna; después, en el primer cuarto, un semicírculo, y por último un disco imperfecto, que concluye al cabo por tomar la forma circular.

Continúa la Luna su camino, y llega á encontrarse al lado contrario de aquel que el Sol ocupa, dándose á esta época y fase de la Luna el nombre de *oposición, Luna llena ó plenilunio*. En la segunda mitad de su órbita, pasa la Luna por los mismos aspectos, pero en un orden inverso, por manera que así como en la primera mitad de su revolución volvía hacia Occidente su borde circular, en esta segunda mitad ocurre lo contrario, y la convexidad se dirige hacia Oriente, esto es, en ambos casos hacia el punto en que se encuentra el Sol. Un refrán popular acabará de hacer esto más claro:

Cuarto creciente,
cuernos á Oriente
Cuarto menguante,
cuernos adelante.

A las dos posiciones simétricas de la conjunción y de la oposición se da el nombre de *sizigias*, y al primero y último cuarto el de *cuadraturas*.

Se llama *lunación* el intervalo de tiempo transcurrido entre dos novilunios sucesivos, y *revolución sinódica* al tiempo que tarda la Luna en ocupar dos posiciones idénticas respecto del Sol y de la Tierra; *sinodo* en lenguaje eclesiástico significa la reunión de las dignidades de la Iglesia, y por extensión se ha dado el nombre de revolución sinódica al intervalo comprendido entre dos reuniones de dos astros en el cielo.

La lunación comienza con la Luna nueva y la revolución sinódica cuando el centro del globo lunar coincide con el círculo horario variable del Sol, y ambos períodos tienen una duración igual de $29^d,53$ ó sea $29^d 12^h 44^m 3^s$.

La Luna completa su circuito en el cielo, por término medio, en el espacio de $27^d,322$, ó sea, en $27^d 7^h 43^m,7$; si empezamos á observar su movimiento cuando parezca coincidir con una estrella determinada, esto es, cuando se halle en conjunción con la estrella, y ambos astros pasen al mismo tiempo por el meridiano, transcurrirán 27 días 7 horas 43 minutos y 7 décimos de segundo, para que vuelvan á pasar en un mismo instante; este período se llama *revolución sidérea* y también *mes sidéreo*. Si, en vez de tomar como origen del movimiento la coincidencia del disco de la Luna con una estrella, nos referimos á aquel punto del cielo en que parece que la eclíptica corta el ecuador celeste, hallaremos un nuevo intervalo distinto del anterior, esto es, del mes sidéreo; porque este punto del cielo, aunque con lentitud extraordinaria, se mueve constantemente hacia atrás ó en sentido retrógrado, por manera que pudiéramos decir que va á la caza del movimiento de la Luna; este punto celeste, sabemos que es el primer punto de Aries, origen del tiempo sidéreo, y sabemos también que hace una revolución completa en el cielo en el transcurso de 25,868 años; por lo tanto, en un mes sidéreo recorre un arco extremadamente pequeño, menor, por cierto, que $4''$, así que la diferencia entre esta nueva clase de mes, llamada *mes trópico* y *revolución trópica*, y la revolución, ó mes sidéreo, es muy pequeña. El mes trópico medio es, necesariamente, más corto que el mes sidéreo, pero en una cantidad muy pequeña; el primero dura $27^d,32156$ y el segundo $27^d,32166$; la diferencia viene á ser de 6 segundos y un tercio.

En cuanto á la que media entre la revolución sinódica ($29^d,531$) y la sidérea ($27^d,322$) viene á ser, como es fácil comprobar, de 2^d y 5^h . Esta diferencia proviene de que la Tierra no permanece inmóvil, como hemos supuesto hace un instante, al presentar la explicación de las fases. Mientras que la Luna gira alrededor de la Tierra, ésta, como sabemos, da vueltas alrededor del Sol, y es obvio deducir que esta circunstancia produce la diferencia que acabamos de señalar.

Consideremos la Luna en el momento de su conjunción. En esta época, los centros de la Luna, de la Tierra y del Sol se encuentran en un plano perpendicular á la eclíptica; la línea T L (fig. 118) corta la esfera celeste en un punto que servirá de marca para reconocer cuándo ha concluído la revolución sidérea; entonces el radio vector L T, que une la Luna y la Tierra, termina nuevamente en el punto marcado, que podemos suponer sea una estrella, y su dirección será paralela al radio vector T L; pero precisamente por esta causa no se

hallará todavía la Luna en conjunción y tendrá que describir además en su órbita un arco que mida el ángulo comprendido entre la línea $T' L'$ y el radio que parte del centro de la Tierra y termina en el centro del Sol, es decir, un arco que tiene precisamente la misma amplitud que el que ha descrito la Tierra entre las posiciones T y T'' .

La duración de una lunación completa, mes lunar ó revolución sinódica, es mayor, pues, que la de una revolución sidérea, y un cálculo muy sencillo demuestra que la diferencia es la que tenemos indicada (dos días y cinco horas). Así, pues, la Luna describe su órbita alrededor de la Tierra en $27^d 7^h$ y 43^m .

La trayectoria aparente de la Luna en la bóveda celeste es, poco más ó menos, un círculo máximo, lo que proviene de que su órbita es sensiblemente

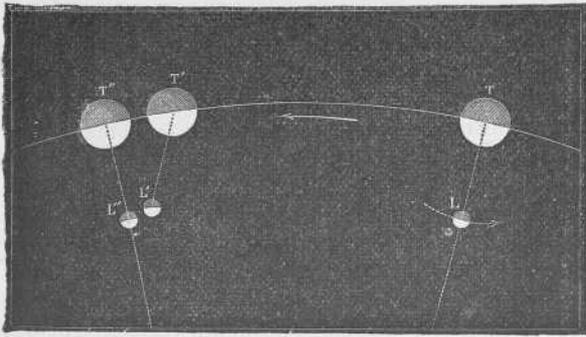


Fig. 118. — Diferencia entre la revolución sinódica y la revolución sidérea

plana, sin que podamos por esto asegurar nada todavía sobre su forma real. Para conocerla, se mide cuantas veces es posible el diámetro aparente de la Luna, durante el curso de una revolución sidérea; las variaciones del diámetro indican las variaciones, en sentido inverso, de las distancias á que sucesivamente se encuentra la Luna de la Tierra.

Y, por consecuencia, las relaciones de estas distancias; aquí sólo tenemos que repetir una operación que ya conocemos, pues la efectuamos cuando quisimos determinar la forma de la órbita solar. Si en cada posición que ocupa la Luna en el cielo, sobre la línea aparente que va de la Tierra á nuestro satélite, marcamos una longitud proporcional á la distancia correspondiente, sólo tendremos que unir con una línea continua las extremidades de estos radios, para obtener una curva semejante á la órbita lunar, curva que tiene, como diremos de aquí á poco, la forma de una elipse y en la cual ocupa la Tierra uno de los focos.

Si, como hicimos con otros astros, observamos diariamente el paso de la Luna por el meridiano, y determinamos su ascensión recta y su declinación, podremos trazar en una esfera, en la que se encuentre indicada la eclíptica, una serie de puntos que marquen sus situaciones sucesivas, y uniendo todos estos puntos por una línea, veremos que la Luna se halla unas veces hacia la parte Norte de la eclíptica, siendo en este caso su latitud boreal, y otras hacia la parte Sur, y su latitud austral. El punto de la eclíptica por donde pasa la Luna cuando va del Mediodía al Norte de este plano, se llama *nodo ascendente*; el punto de la eclíptica que atraviesa al pasar del Norte al Mediodía de este mismo plano se llama *nodo descendente*. Estos nodos, análogos á los equinoccios solares, no conservan una posición fija é invariable en el cielo, ni se encuen-

tran tampoco diametralmente opuestos; están dotados de un movimiento propio muy considerable, que se dirige de Oriente á Occidente; así, pues, mientras que los equinoccios solares varían unos $50''$ cada año, los nodos de la Luna retroceden durante un período análogo y en el mismo sentido, $19^{\circ} 20' 29'', 7$, lo que corresponde á $3' 10'', 6$ diarios. Si el nodo ascendente se encontrase cerca de una estrella al comenzar una lunación cualquiera, se le hallaría próximo á otra estrella situada $1^{\circ} 33' 49'', 6$ más á Occidente, al comenzar la otra lunación. Este fenómeno se conoce con el nombre de retrogradación de los nodos. Supongamos que en la fig. 119 ocupa la Tierra el punto T; que las letras E E marcan el plano de la eclíptica, y N el nodo ascendente de la Luna en una de sus revoluciones. El movimiento de la Luna en su órbita tiene lugar de derecha á izquierda, y el nodo se transporta gradualmente del punto N al punto N'; como vemos, este movimiento de retrogradación es análogo al de la precesión de los equinoccios, si bien mucho más rápido, pues los nodos lunares recorren la órbita entera de nuestro satélite en 18 años y 2 tercios, que son $6,793^d, 4$; por manera que en este período de tiempo efectúa la Luna 249 revoluciones y vuelve á encontrarse el nodo ascendente, por ejemplo, en el mismo punto de donde partió.

Cuando día por día marcamos en nuestra esfera las posiciones diversas que el Sol ocupa en el cielo, adquirimos la certidumbre de que el astro lumínar del día describía una curva situada próximamente en un plano que formaba con el ecuador un ángulo casi constante. Si hacemos la misma operación sirviéndonos de los datos que nos suministran las obser-

vaciones lunares, hallaremos que las diversas partes de la órbita de la Luna, aun en una misma lunación, están situadas en planos diferentes. Para descubrir la causa real de esta irregularidad, indiquemos en la curva fija y plana producida por el equinoccio ascendente en una época determinada de cierta lunación, las posiciones de la Luna, separadas unas de otras en aquellas cantidades que nos han suministrado las observaciones cotidianas de un semilunio. Hagamos girar en seguida este plano uniformemente y de manera que su intersección con la eclíptica venga á coincidir con el equinoccio descendente, cuando la semirrevolución de la Luna haya concluido, y se verá que las posiciones sucesivas del astro coinciden día por día, y con pequeñísimas diferencias, con las posiciones observadas. Podemos, pues, admitir que la Luna se mueve, como el Sol, en una curva plana, toda vez que observamos que el plano de esta curva se ve sin cesar arrastrado, por decirlo así, de modo que corte el plano de la eclíptica en las posiciones variables que, sucesivamente, van ocupando los nodos.

Este plano móvil, en el cual camina la Luna, forma con el plano de la eclíptica un ángulo casi constante de $5^{\circ} 8' 48''$, lo que en otros términos significa que las mayores latitudes de la Luna permanecen iguales en todas las lunaciones; pero no sucede lo mismo con las declinaciones ó distancias de la Luna al ecuador, pues éstas cambian considerablemente en el curso de una lunación.

El movimiento propio angular de la Luna, considerado en su órbita móvil,

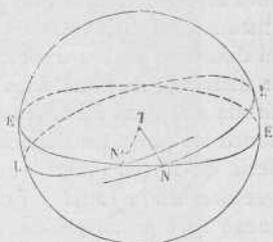


Fig. 119. — Retrogradación de los nodos de la Luna

no es uniforme, y presenta diferencias muy sensibles é importantes. Los procedimientos gráficos que hemos descrito más arriba, determinan los puntos en que las líneas rectas tiradas de la Tierra á la Luna y que hemos llamado *radios vectores*, encuentran á la esfera celeste; pero hasta ahora no nos han suministrado luz alguna, como indicamos, sobre la naturaleza de la curva que recorre la Luna; no sabemos, por ejemplo, si esta curva es un círculo ó una elipse; es preciso, pues, para conseguir este resultado, combinar con las observaciones de ascensión recta y de declinación, otras observaciones de diverso género, propias para hacernos conocer si las distancias de la Luna á la Tierra son constantes ó variables. Con este objeto podemos servirnos del micrómetro, y aplicándolo á la medida del diámetro angular de nuestro satélite, veremos que su valor no permanece constante, y consecuentemente, que la distancia de la Luna á la Tierra cambia de un modo perpetuo, pues sería absurdo suponer que el diámetro real de este astro varíe durante todo el curso de una lunación y que presente cambios análogos en las lunaciones sucesivas. De otro lado, se comprende que estas distancias deben estar en razón inversa de los diámetros angulares, es decir, que el diámetro mayor debe corresponder á la menor distancia, y el más pequeño á la distancia máxima. Una serie de medidas distribuídas en todos los puntos de la órbita nos dará á conocer la relación de las distancias de la Luna á la Tierra en todos los períodos de una lunación; ahora bien, si se traza sobre un plano una serie de líneas rectas que formen entre sí ángulos iguales á los de los radios vectores de la Luna, en cada uno de los días que componen una lunación, y si luego se marcan en estas líneas longitudes inversamente proporcionales á los diámetros correspondientes de este astro, se obtendrá una representación exacta de la curva que recorre nuestro satélite. Por este medio se ha hallado que la órbita lunar es elíptica y que la Tierra está situada en uno de sus focos. La extremidad del eje mayor de esta elipse que se halla más próxima á la Tierra se llama *perigeo*; la extremidad diametralmente opuesta, *apogeo*, y el apogeo y el perigeo, considerados á la vez, se llaman *ápsides*, y el eje mayor ó línea que los une, línea de los ápsides.

Cuando la Luna se encuentra á su menor distancia de la Tierra, ocupa precisamente el punto que hemos llamado perigeo y su diámetro alcanza su mayor valor angular; al encontrarse en el apogeo, disminuye el valor de su diámetro y su distancia á la Tierra obtiene su valor máximo. Véanse en la figura de la página siguiente las dimensiones aparentes de la Luna á sus distancias máxima, media y mínima.

El diámetro aparente de la Luna cuando se encuentra á su distancia media de la Tierra, según observaciones telescópicas efectuadas por la noche, es de $31' 9''$ ó $1,869''$; pero este valor no es muy exacto y debe corregirse el efecto de la irradiación; cuando se obtiene el diámetro de la Luna por observaciones verificadas durante los eclipses de Sol, en cuyo caso la irradiación tiende á disminuir su tamaño aparente, pues entonces se presenta como un cuerpo negro sobre un fondo iluminado, su valor depende, en gran parte, de las condiciones del antejo que se emplee; pero de un promedio de gran número de observaciones resulta un diámetro de $30' 55''$ ó $1,855''$.

Las variaciones del diámetro aparente de la Luna, según las distancias á que

se encuentre este astro de la Tierra, son más considerables de lo que pudiera creerse á primera vista:

| | Diámetros de la Luna | Distancias á la Tierra |
|--------------------------|-------------------------|---------------------------|
| En el apogeo. | 29' 20".9 | 0.9449 |
| Distancia media. | 31 5.1 | 1.0000 |
| En el perigeo. | 33 30.1 | 1.0549 |

La distancia del foco de la elipse en que la Tierra está situada al centro de la curva descrita por la Luna, distancia que se llama excentricidad, expresada en partes del semieje mayor, es igual á 0.548442. La excentricidad de la órbita terrestre es próximamente de 0.0168, es decir, inferior en una tercera parte á la

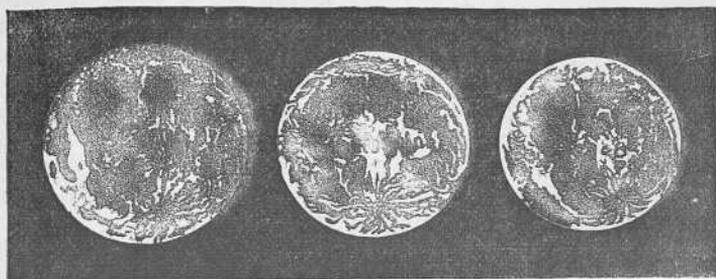


Fig. 120. — Dimensiones aparentes del disco lunar á sus distancias extremas y media de la Tierra

excentricidad de la órbita lunar, lo que equivale á decir que esta última curva tiene una forma más prolongada ó que difiere más de un círculo.

Las perturbaciones que experimenta el movimiento de nuestro satélite se deben á la acción combinada de las fuerzas atractivas de la Tierra y el Sol, que modifican de un modo en extremo sensible la forma elíptica que nos indicó al principio una primera aproximación; hemos visto que, en realidad, esta órbita no es una curva cerrada, pero ni aun siquiera plana. Mas si, en vez de relacionar la órbita de la Luna con la Tierra inmóvil, se investiga qué línea es la que describe la Luna en el espacio, por ejemplo, en el intervalo de un año, encontramos una línea que se aparta mucho más de la forma de la elipse. El movimiento de la Luna, tal como lo hemos estudiado hasta aquí, es un movimiento relativo; su movimiento real sólo se obtiene combinando este movimiento relativo con el de la Tierra alrededor del Sol. Teniendo en cuenta estos dos movimientos simultáneos, veremos que la órbita anua de la Luna es una curva de forma sinuosa como la que representa la fig. 121 si se restablecen las proporciones exactas que existen entre la distancia de la Tierra al Sol y la de la Luna á la Tierra; se ve que esta curva se compone de doce sinuosidades y algo más, cada una de las cuales comprende un arco interior y un arco exterior á la órbita de la Tierra; esta curva es una especie particular de epicicloide.

En la figura 121 se representa el desarrollo de la curva en el curso de un año entero, y vemos que la órbita aparece ya cóncava, ora convexa respecto del lado en que se halla el Sol; se demuestra, sin embargo, que no posee inflexión alguna y que presenta siempre su concavidad hacia el Sol. Además, es preciso no olvidar que no se trata de una curva plana, toda vez que su plano varía constantemente de posición y de inclinación sobre el plano de la eclíptica.

En la fig. 122 la curva se encuentra ampliificada y referida al curso de la Luna durante una lunación.

En la explicación que dimos de las fases de la Luna hemos hallado la prue-

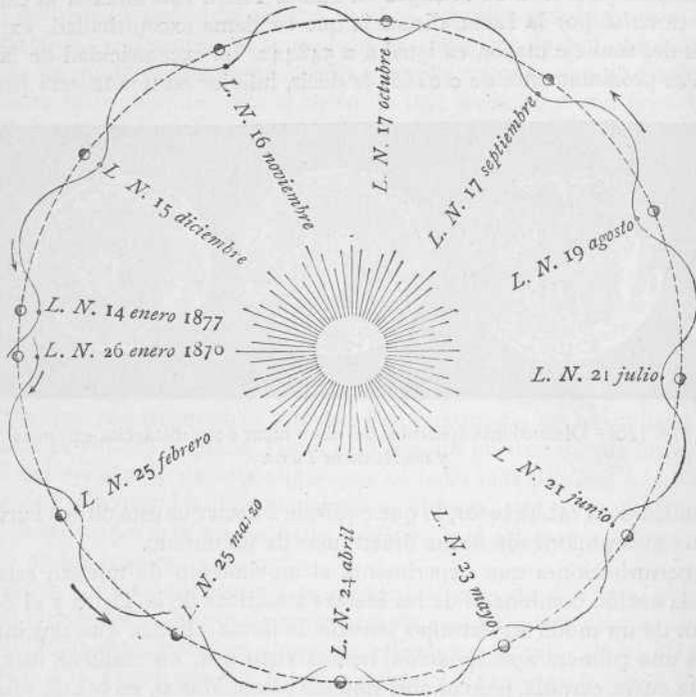


Fig. 121. - Movimiento de la Luna en el espacio; forma sinuosa de la órbita

ba decisiva de que la luz de nuestro satélite proviene de la del Sol; en contra de esta demostración no puede presentarse más que una dificultad. La totalidad de la Luna se distingue en circunstancias en que, según la teoría, no debiera percibirse sino una pequeñísima parte; esto se observa en los primeros días de la Luna (fig. 123), en los que, mirando con atención la falce lunar, se ve sin gran trabajo el resto del disco completo, iluminado por un reflejo débil y como fosforescente; á esta luz llaman los franceses *luz cenicienta*, nombre formado del latín *lumen incinerosum*; en Inglaterra se conoce popularmente por la Luna vieja entre los brazos de la nueva. Por supuesto que, después del último cuarto, cuando la parte brillante de la Luna se reduce á una hoz delgadísima, aparece de

nuevo la luz cenicienta. Según Schroeter y Lalande, es más viva hacia el tercer día antes y después del novilunio.

Es muy fácil observar, asimismo, que el contorno exterior de la parte brillante del disco parece que pertenece á una circunferencia de radio mayor que el de la circunferencia de la luz cenicienta. Esta es una ilusión producida por el fenómeno óptico de la irradiación que, como ya sabemos, da á los objetos unas dimensiones aparentes tanto mayores, cuanto más poderosa sea la intensidad de su luz propia ó reflejada. Una vista perspicaz y acostumbrada á la observación puede distinguir en buenas condiciones atmosféricas algunas manchas en el disco lunar iluminado por la luz cenicienta; con el auxilio de unos gemelos de teatro se distingue la luz cenicienta con claridad y durante mucho más tiempo que á la simple vista. Schroeter pudo observarla tres horas después del primer cuarto, pero valiéndose de un anteojo de dos metros de longitud con un aumento de 160 veces.

¿De dónde proviene la luz cenicienta? ¿Se deberá á una fosforescencia particular de la Luna? Después de muchas vacilaciones se ha llegado á descubrir con toda evidencia la causa de este fenómeno.

Los antiguos, que, como hemos podido ver en el curso de este libro, no tenían nociones muy positivas en astronomía física, dejándose guiar por los sentidos, creían que la luz cenicienta era una fosforescencia particular de la superficie de nuestro satélite; pero la explicación de este aspecto es tan sencilla que no deja lugar á duda de ninguna especie en cuanto á la causa productora de este interesante fenómeno.

El día de la Luna llena, los rayos solares reflejados por este astro iluminan la superficie de la Tierra con intensidad bastante para que se pueda suponer que un observador situado en nuestro satélite viese toda la extensión de un hemisferio terrestre (fig. 124). Asimismo la distinguiría, aunque más débilmente, el día del primer cuarto lunar, y más débilmente aún cuando tan sólo una pequeña falce ilumine nuestro globo; ahora bien, ¿en

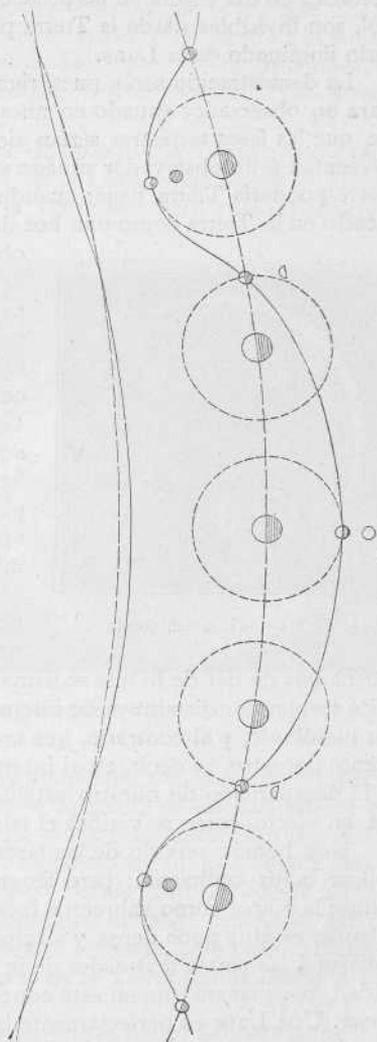


Fig. 122. —Movimiento de la Luna en el espacio durante una lunación

qué hecho nos hemos apoyado para explicar las fases de la Luna? En el hecho de que la Luna es un cuerpo opaco, sin brillo propio, é iluminado por la luz del Sol; en segundo lugar en el hecho de que en virtud de los cambios que se verifican de día en día en las posiciones relativas de la Tierra, de la Luna y del Sol, son invisibles desde la Tierra partes más ó menos considerables del hemisferio iluminado de la Luna.

La demostración sería, pues, rigurosamente aplicable á las fases de la Tierra para un observador situado en nuestro satélite, con la diferencia, no obstante, de que las fases terrestres serían siempre inversas de las lunares, tales como se presentan á un observador situado en la Tierra; de modo que, á Luna nueva correspondería Tierra llena; cuando la Luna apareciese para un observador colocado en la Tierra como una hoz delgadísima, se presentaría la Tierra, para un

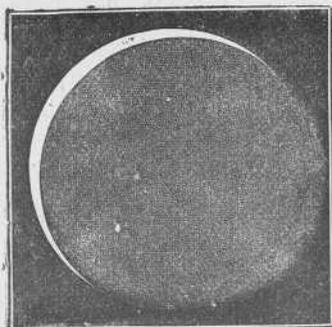


Fig. 123. — Luz cenicienta

observador situado en la Luna, como un círculo de luz, en el cual una parte semejante por su extensión comparativa al cuarto de la Luna, sería oscuro; pero como la extensión superficial de la Tierra es próximamente trece veces mayor que la extensión superficial de la Luna, se concibe que los rayos solares que aquélla envía por reflexión sobre la superficie lunar, sean bastante poderosos para que después de una segunda reflexión puedan hacer visible la porción de nuestro satélite, no iluminada directamente por los rayos del Sol.

Si la explicación de la luz secundaria que nos permite ver la parte de la Luna no iluminada por la luz del Sol, si la explicación que acabamos de dar de lo que se llama luz cenicienta es exacta, se comprende que este resplandor disminuya de intensidad, á medida que la Luna camina hacia su plenilunio, y al contrario, que crezca de día en día durante el curso descendente del astro, es decir, en el intervalo comprendido entre el día del plenilunio y la desaparición de nuestro satélite por la mañana en los rayos del Sol, y así es, en efecto, como se verifica el fenómeno.

Nos hemos servido de las fases de la Tierra vistas desde la Luna, para explicar la luz cenicienta; pero tenemos que hacer aquí una observación importante; la Luna, como sabremos luego, carece de atmósfera, ó al menos, si tiene alguna, es muy poco densa y siempre diáfana, por cuyo motivo llegan los rayos solares á las partes materiales de la superficie, donde se reflejan con igual intensidad, por manera que en este concepto deben parecerse por su brillo todas las fases. Una Luna es perfectamente igual á cualquiera otra anterior ó posterior, igualdad que no presentan las fases de la Tierra vistas desde la Luna; por efecto del movimiento de rotación de nuestro globo, cambia de un modo perpetuo la parte iluminada, y como abraza porciones más ó menos considerables de continentes ó tierra firme y de mares, en veinticuatro horas se verá desde la Luna variar rápidamente el brillo de las fases terrestres. Si nuestra atmósfera está serena y despejada, los rayos solares la atravesarán primero, se reflejarán

en la superficie del globo y volverán á atravesar la atmósfera en su camino hacia la Luna, sufriendo una doble debilitación en su poder luminoso; si la atmósfera estuviese completamente cubierta, formarían la fase los rayos reflejados en la superficie exterior de las nubes. Supongamos una atmósfera parcialmente diáfana y parcialmente cubierta, y supongamos asimismo que la luz que la Tierra refleja hacia la Luna proviene en parte de las nubes y en parte de la superficie material del globo; ahora bien, como estas dos clases de luz poseen intensidades muy distintas, no podrá predecirse cuál será el resplandor de la fase terrestre.

Vemos, pues, que bajo todos conceptos las fases de la Tierra vistas desde la Luna, difieren esencialmente de las fases de la Luna vistas desde la Tierra.

Dijimos que cuando la Luna es nueva, la Tierra está llena para el observa-

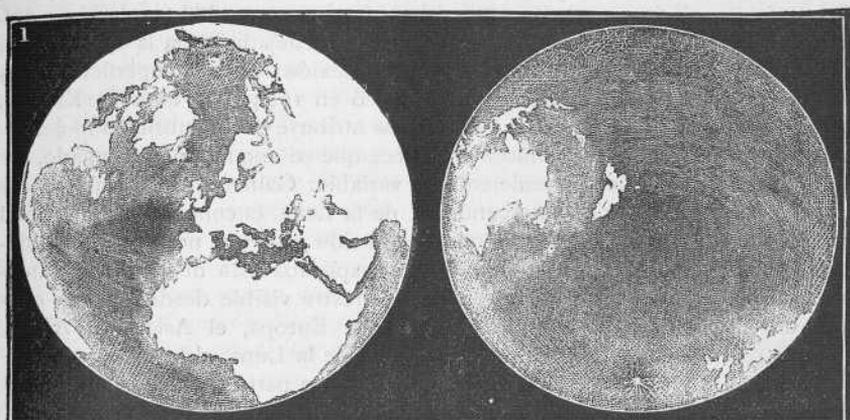


Fig. 124. - La Tierra desde la Luna; Tierra llena

dor lunar; en este caso la Luna se encuentra iluminada por la luz de un disco, cuya superficie es igual á 13 veces la superficie aparente de nuestro satélite en su lleno. Tal es la causa, como se ha visto, de la luz cenicienta; pero la superficie del disco iluminado será más ó menos brillante, según que abrace más ó menos continentes ó porciones de tierra firme, y según, también, que la atmósfera se halle más ó menos despejada. La intensidad de la luz cenicienta estará, pues, ligada no sólo con la extensión de la fase terrestre, sino también con el estado medio de la atmósfera, en el hemisferio de la Tierra visible desde la Luna, en el momento de efectuar la medición.

Las observaciones de la intensidad pueden, por lo tanto, darnos alguna idea sobre el estado medio de los hemisferios terrestres, que, por efecto del movimiento de rotación de nuestro globo, vienen á colocarse sucesivamente enfrente de la Luna. Las consecuencias de estas medidas fotométricas son bastante curiosas para que, dejando á un lado la teoría, se trate de establecer su posibilidad por medio de observaciones directas.

La luz secundaria que nos permite ver la totalidad de un hemisferio de la Luna, aun cuando la parte iluminada por el Sol se presente á nuestros ojos como una falce delgadísima, esta luz que hemos llamado cenicienta, fué observada por los antiguos que se vieron muy perplejos para explicarla. Posidonio pensaba que la materia de la Luna era diáfana, de tal suerte que los rayos del Sol penetraban más allá de la superficie iluminada directamente por este astro, y que luego nos eran enviados del mismo modo que los rayos que penetran en el interior de una nube.

Tycho Brahe creía encontrar el origen de la luz cenicienta en la luz de Venus, que después de iluminar la parte de nuestro satélite que no era visible desde el Sol, se reflejaba segunda vez hacia la Tierra. Algunos astrónomos dieron rienda suelta á su imaginación llegando á suponer que esta luz secundaria se debía á los resplandores estelares; finalmente, Moestlín, el maestro de Keplero, encontró la verdadera causa de este curioso fenómeno, en la luz solar, que después de haber llegado á nuestro globo y haberse reflejado hacia la Luna, volvía á la Tierra á consecuencia de una segunda reflexión sobre la superficie sólida de nuestro satélite. Esta explicación se publicó en 1604 en la obra de Keplero titulada *Astronomie pars optica*. En Italia se atribuye el descubrimiento á Leonardo de Vinci, en cuyos manuscritos parece que se encuentra consignado.

La intensidad de la luz cenicienta es variable; Galileo creyó notar que era más viva durante el período descendente de la Luna, encontrándola más débil en las otras fases; pero esto es sólo una apreciación vaga que no se apoya en ninguna medida fotométrica. El ilustre italiano explicaba esta diferencia de intensidad por la consideración de que la fase terrestre visible desde la Luna contiene durante el primer período citado, á la Europa, el Asia y el Africa, mientras que al contrario, durante la creciente de la Luna, el hemisferio terrestre, causa de la luz cenicienta, se compone en gran parte de la porción líquida de nuestro globo, á saber, del Océano Atlántico y del mar Pacífico.

Las observaciones de Galileo sobre el máximo brillo de la luz cenicienta durante el descenso de la Luna, fueron confirmadas por Hevelio y otros astrónomos modernos. Cierta es, empero, que el astrónomo de Dantzig creyó notar que la fase de la Luna, durante el descenso del astro, era menos brillante que la fase creciente, lo que parece indicar, suponiendo exacta la observación, que la parte occidental del disco lunar ofrece más aptitud para reflejar la luz del Sol, que la parte oriental. De este modo se explicaría, sin intervención de las propiedades reflectoras de los mares y los continentes, por qué la parte occidental, cuando sólo nos envía la luz cenicienta, es más viva que la región opuesta.

Hay una observación muy curiosa de Lambert, que nos parece digna de mención. «El 14 de febrero de 1774, dice el ilustre académico de Berlín, vi que esta luz, en vez de ser cenicienta, presentaba un color aceitunado... La Luna estaba entonces 55° más avanzada en ascensión recta que el Sol, con una declinación boreal de 7° y medio; y caía perpendicularmente sobre el Atlántico, mientras el Sol lanzaba á plomo sus ardientes rayos sobre los habitantes de la parte austral del Perú. El astro del día derramaba, pues, su mayor claridad sobre la América meridional, y si las nubes no oponían obstáculo alguno al progreso de la luz, este gran continente debía reflejar hacia la Luna una cantidad

bastante considerable de rayos verdosos, para colorear con este tinte la parte que el Sol no iluminaba directamente. Esta es la razón que creo poder alegar como explicación del color aceitado de la luz de la Luna, que se llama comúnmente luz cenicienta.... Por manera que la Tierra, vista desde los planetas, podrá aparecer de un color verdoso »

Continúa el autor exponiendo que las apariencias varían sensiblemente, según la fuerza de los anteojos que se usaban en la observación. Arago, por su parte, sin tener conocimiento de las observaciones de Lambert, distinguió el 20 de noviembre de 1811, con auxilio de un antejo sin acromatizar, la luz cenicienta muy brillante, pero de un color verde pálido, extremadamente pronunciado. Cambiando de antejo y empleando uno acromático, pudo percibir, asimismo, la luz cenicienta verdosa, pero con un color menos sensible; esta observación fué confirmada por Bouvard y Mathieu. Al día siguiente había disminuído de intensidad la luz cenicienta, siendo su tinte verdoso menos sensible aún, si bien se distinguía fácilmente con el antejo de noche no acromático. Introduciendo ó retirando el ocular, el borde de la Luna iluminado por el Sol pasaba sucesivamente por diversos tonos prismáticos, pero en ninguna de estas posiciones se distinguían colores irisados en el borde ceniciento; con un antejo acromático excelente, que aumentaba 130 diámetros, se veía muy bien la luz cenicienta, pero no se distinguía en absoluto el tinte verdoso, que tan perceptible era con los anteojos sin acromatizar.

Del conjunto de estas observaciones deduce Arago que es posible que la luz cenicienta sea blanca, y que el tinte verdoso aparente debe atribuirse á un efecto de contraste, como consecuencia del color rojo ó anaranjado, que se percibe sobre la porción del disco iluminada por el Sol y sobre el borde de las manchas oscuras; puede ser que el tinte azul verdoso que nuestra atmósfera proyecta sobre toda la extensión del disco lunar, influya de un modo sensible en la producción del fenómeno, pero el número de observaciones es insuficiente para pronunciarse en ningún sentido.

Hacia la época de las cuadraturas no se distingue la luz cenicienta, ni á la simple vista, ni con anteojos de calidad inferior; Schroeter pudo observarla con un buen instrumento, dos ó tres días después de la primera cuadratura, y Hevelio tan sólo un día después de esta misma época.

Cuando la Luna se muestra al Oriente como una falce delgadísima, se encuentra muy próxima al Sol; dejamos de verla por algunos días, y al cabo de poco tiempo reaparece hacia el Occidente, con una fase semejante, pero inversa de la anterior. Si nos fijamos en el curso del astro durante los tres ó cuatro días de su desaparición, comprenderemos que el instante que separará el momento de su desaparición por la mañana y de su reaparición por la tarde, en dos partes iguales, será el momento en que la Luna se hallará exactamente interpuesta entre el Sol y la Tierra, ó sea en conjunción, y que entonces sólo recibirá luz en el hemisferio invisible para nosotros; el momento de la conjunción es también el fin de una lunación y el comienzo de la que sigue.

Es evidente que el instante de la Luna nueva, ó en otros términos, el momento en que principia el mes lunar, no puede determinarse por una observación inmediata, á menos de que en el instante preciso de la conjunción no haya

un eclipse, esto es, que la Luna se haga visible como pantalla que cubre al Sol. El momento en que principia el mes lunar se publica con anterioridad en las efemérides astronómicas y desde este instante se empieza á contar la *edad de la Luna*; se ha convenido en decir que la Luna tiene un día cuando sólo han pasado veinticuatro horas desde el instante de la conjunción ó Luna nueva; en las veinticuatro horas siguientes tiene la Luna dos días, siete en el primer cuarto y así sucesivamente.

La forma del disco lunar, plenamente iluminado, es la de un círculo perfecto, es decir, que sus diámetros medidos en todas direcciones y sentidos son iguales, de lo cual podemos deducir que la forma real de la Luna es la de una esfera perfecta. Sabemos que la Tierra y los demás planetas de nuestro sistema son esferoidales, esto es, que están más ó menos aplanados por los polos, y sabemos también que este achatamiento es consecuencia de la rotación del eje, dependiendo su magnitud de la velocidad del movimiento giratorio; en nuestro satélite es tan lento el movimiento de rotación sobre su eje, que el valor de la depresión polar, aunque existe sin duda alguna, es tan pequeño, que apenas podemos apreciarlo en nuestras observaciones. Por lo tanto, deberíamos deducir que la Luna es un cuerpo perfectamente esférico, si la teoría no nos demostrase que hay otra causa de perturbación, por cuya virtud ha sufrido nuestro satélite cierto cambio de figura.

Aceptando que la Luna haya estado alguna vez fluida y plástica, se demuestra que la atracción de la Tierra ha de haber acumulado una masa de materia, como la ola de la marea terrestre, en la dirección de la línea que une los centros de ambos cuerpos, y como consecuencia, que la verdadera estructura de la Luna debe ser la de un elipsoide, cuyo eje mayor se dirija hacia la Tierra. La exactitud de esta afirmación es evidente, por la coincidencia de los tiempos de las revoluciones, tanto de la Luna en su órbita, como del propio cuerpo sobre su eje. Sería contrario á toda probabilidad suponer que ambos movimientos hayan podido ser perfectamente iguales en su origen, dice Laplace; pero con admitir que su diferencia primitiva fuese muy pequeña, el influjo perpetuo de la atracción terrestre sobre la porción prominente de la Luna habría establecido la igualdad que ahora observamos.

Pero basta á nuestro propósito y á la clase de estudios que estamos haciendo, que consideremos la Luna como una esfera perfecta.

Para determinar el tamaño de la Luna, necesitamos dos datos: uno su diámetro angular ó aparente, y otro su distancia á la Tierra. El primero de estos elementos se obtiene midiendo el ángulo comprendido entre dos líneas que partiendo del ojo del observador, terminen en los limbos opuestos ó bordes de la Luna.

En la práctica se llevan á cabo estas mediciones con anteojos provistos de sus micrómetros y círculos divididos; la diferencia entre las lecturas del círculo cuando el anteojo se dirigió á limbos opuestos de la Luna, da su diámetro angular en el momento de la observación; pero como la órbita de la Luna es elíptica, se colige de un modo evidente que en ciertas ocasiones estará más cerca de nosotros, y en otras más distante, y que, por lo tanto, su magnitud aparente tiene que ser variable; hay también otra ligera variación que depende

de la altitud de la Luna en el instante en que se efectúe la medida; el diámetro medio, no obstante, ó de otro modo, el diámetro á su distancia media del centro de la Tierra, según un gran número de observaciones, se ha determinado que es de $31' 9''$.

Para convertir este diámetro angular aparente en medidas lineales efectivas, es necesario conocer la distancia de la Luna á la Tierra, ó lo que en lenguaje astronómico, y fundado en esta distancia, se llama la *paralaje* de la Luna. Paralaje, en general, se llama al cambio aparente de posición que sufre un objeto al variar el punto de vista ó de observación; la paralaje de un cuerpo celeste, que ya hemos definido, se contrae al ángulo que subtiende la Tierra vista desde el astro que se considere. Supongamos que un observador colocado en la Luna pudiera medir el diámetro angular de la Tierra del mismo modo que nosotros medimos el de la Luna, en cuyo caso el valor que obtuviese representaría lo que se llama paralaje de la Luna. Pero, por desgracia, nos está vedado el ir á la Luna á verificar esta medición; hay, sin embargo, unos métodos muy sencillos, que explicaremos más adelante, que permiten averiguar el valor de este ángulo; basta por ahora á nuestro objeto, que digamos que el ángulo subtendido por la Tierra, según se vería desde nuestro satélite, es igual á $1^{\circ} 54' 5''$ según las observaciones más recientes y exactas; valor que no es permanente, pues varía de un modo considerable en relación con las distancias de la órbita elíptica de la Luna; el número anterior representa la paralaje media ó la paralaje á la distancia media.

Mas ahora tenemos que convertir esta medición angular en leguas, lo cual fácilmente obtendremos considerando que el diámetro angular de la Tierra, visto desde la Luna, es al diámetro angular de la Luna, visto desde la Tierra, como el diámetro de la Tierra en leguas, es al diámetro de la Luna en leguas. Sabemos que el diámetro de la Tierra es de unas 3.184 leguas y podemos formar, pues, la sencillísima proporción siguiente:

$$1^{\circ} 54' 5'' \text{ es á } 31' 9'' \text{ como } 3.184 \text{ es á } 870;$$

por lo tanto, el diámetro de nuestro satélite es de 870 leguas. Conocido el diámetro, con igual facilidad podemos obtener los demás elementos de magnitud; por medio de la conocida relación del diámetro de una esfera con su superficie, hallamos que el área de la Luna mide 38 millones de kilómetros cuadrados y la mitad de esta cifra, esto es, 19 millones de kilómetros cuadrados, es el área del hemisferio que podemos contemplar de una vez; su volumen es de 22.000 millones de kilómetros cúbicos.

Comparando estas cifras con las dimensiones correspondientes de la Tierra, vemos que el diámetro de la Luna viene á ser $\frac{1}{37,0}$ del diámetro terrestre; su área $\frac{1}{1,374}$ del área ó superficie de la Tierra; y su volumen $\frac{1}{499,2}$ del volumen de nuestro planeta. Pero más fácilmente se juzgará de las relaciones que existen entre las magnitudes de ambos cuerpos con una comparación gráfica, como la que se representa en la fig. 125. Vemos que la superficie del disco lunar equivale á la superficie del imperio ruso y que el área total es algo menor que la décimatercera parte del área del globo terrestre, y unas cuatro veces mayor que el continente europeo. En la fig. 126 presentamos otra comparación gráfica que habla aún con más claridad que el grabado anterior.

Si de las dimensiones lineales y superficiales pasamos al volumen, vemos que harían falta 49 esferas como la de la Luna, para formar un globo del tamaño de nuestro planeta; el Sol y Luna parece que ocupan espacios iguales en el cielo, y sin embargo, para obtener un volumen de la magnitud del astro lumínico del día sería necesario reunir nada menos que 62 millones de Lunas.

La masa ó peso de la Luna se ha determinado por varios métodos, ora sencillos, ya complicados, que no podemos desarrollar aquí, pero de los cuales daremos siquiera una breve idea. Uno de los más fáciles de comprender se apoya en el fenómeno de las mareas. La masa de la Luna atrae las aguas del mar produciendo cierta elevación periódica en la envoltura líquida del globo terrestre; el Sol, por su parte, también obra de igual manera, pero en grado mucho menor, en razón á la gran distancia á que se encuentra;

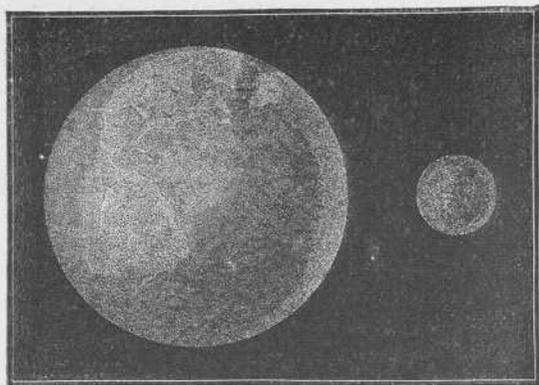


Fig. 125. — Dimensiones comparadas de la Tierra y la Luna.

mediendo con gran escrupulosidad las alturas de las mareas lunar y solar, y llevando en cuenta la diversa distancia á que se encuentran respectivamente de la Tierra la Luna y el Sol, podemos comparar el efecto que se debe á cada uno de estos lumináres; y como las masas de ambos cuerpos son proporcionales á los efectos que producen, es evidente que podemos establecer una comparación entre la masa del Sol y la de la Luna, puesto que conocemos por separado el valor de la masa solar. Sólo tendremos que establecer, para averiguar la masa de la Luna, una sencillísima proporción.

El otro método se funda en que la Luna se halla sujeta en su órbita por la fuerza de atracción de la Tierra, fuerza que, si llegara á faltar, haría que la Luna se alejase de nosotros según una línea tangente á su órbita; por lo tanto, pudiéramos decir que está dotada de la propiedad, ó que tiene una tendencia constante á apartarse de su órbita, tendencia constantemente contrarrestada también por la fuerza de la atracción terrestre. De aquí se desprende, con toda evidencia, que la Tierra atrae á la Luna hacia sí con una fuerza determinada, en cada segundo de tiempo; pero á la vez que la Tierra atrae á la Luna, también nuestro satélite parece tirar de nosotros, si bien cada cuerpo ejerce su influjo con una intensidad que está en relación con su masa; y como la masa de la Tierra es mayor que la de su satélite, lo atrae con más fuerza; conociendo, como conocemos, con gran exactitud, la masa de nuestro planeta, podemos, pues, calcular qué cantidad de fuerza atractiva le corresponde, y lo que falte para completar la fuerza atractiva de ambos cuerpos será la intensidad de la atracción de la Luna; la proporción de este residuo, verificando una sencilla operación

aritmética, nos da el valor de la masa lunar. Por medio de estos y otros métodos se ha determinado en diferentes ocasiones la masa de nuestro satélite, que estiman los astrónomos en $\frac{1}{80}$ parte de la masa total del globo terráqueo.

Indicamos en las páginas anteriores que la densidad media de la Tierra era cinco veces y media mayor que la del agua, lo que equivale á decir que, colocado el planeta en el platillo de una balanza, sería necesario, para equilibrarla, poner en el otro platillo cinco esferas y media de agua del mismo tamaño; ahora bien, un metro cúbico de agua pesa una tonelada, y multiplicando esta cifra por el número de metros cúbicos de la Tierra, y este producto por $5\frac{1}{2}$, obtendremos 5.842 trillones de toneladas como peso de nuestro globo; y toda vez que la masa de la Tierra es 80 veces mayor que la de la Luna, es obvio que nuestro satélite pesa 73 trillones de toneladas.

El volumen de un cuerpo comparado con su peso, nos permite averiguar su densidad, que no es otra cosa sino la relación que existe entre estos dos elemen-

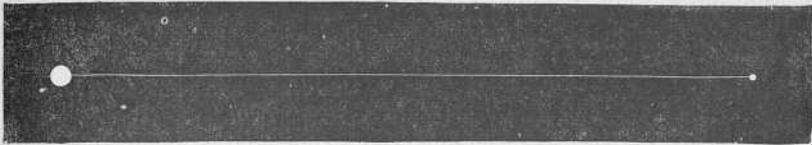


Fig. 126. — La Tierra y la Luna; comparación de sus dimensiones y distancias reales

tos. En la Luna tenemos 22.000 millones de kilómetros cúbicos de materia, cuyo peso total es de 73 trillones de toneladas. Ahora bien, 22.000 millones de kilómetros cúbicos de agua pesarían próximamente $21\frac{1}{2}$ trillones de toneladas, y como este número es respecto de 73 como 1 es á 3.4, es claro que la densidad de la materia lunar es 3.4 veces mayor que la del agua; y siendo asimismo la densidad de la Tierra $5\frac{1}{2}$ veces superior á la del agua, vemos que la Luna es 0,6 veces tan densa como nuestro globo, ó que las substancias que componen el mundo lunar son más ligeras; luego, volumen por volumen, la densidad media de ambos globos se encuentra en la relación de 62 á 100, ó aproximadamente de 6 á 10.

| | |
|-------------------------------|-----|
| Densidad de la Luna | 3.4 |
| » del diamante. | 3.5 |
| » del arsénico. | 3.6 |
| » del granate. | 3.6 |
| » de la turmalina. | 3.5 |
| » de los meteoritos. | 3.7 |
| » del cristal. | 3.3 |

Una esfera del tamaño de la Luna, hecha de cualquiera de estas substancias ó de todas ellas juntas, pesaría lo mismo que nuestro satélite.

Volviendo ahora á hablar de la masa de la Luna, recordaremos que la masa ó peso de un cuerpo planetario determina el peso de todos los objetos que haya en su superficie; lo que en la Tierra llamamos un kilogramo, no representaría la misma unidad en la Luna, por la razón siguiente: cuando decimos que tal ó tal

cosa pesa tanto, lo que realmente indicamos es que la atracción de la Tierra obra sobre ella con una cierta fuerza que depende de su propio peso. Esta atracción es lo que llamamos fuerza de gravedad, y como demostramos en tiempo oportuno, la caída de un cuerpo es un ejemplo de la acción de la ley de la gravitación universal; la Tierra y el cuerpo, pudiéramos decir, caen respectivamente una sobre otro, ó se sustentan mutuamente, si el cuerpo se halla en contacto con la superficie del suelo, con una fuerza que depende, directamente, de la masa de ambos y de la distancia que medie entre ellos. El gran Newton demostró que la atracción de una esfera sobre un objeto externo se efectúa del mismo modo que si toda la masa estuviera reunida en el centro. Por manera que la fuerza atractiva de la Tierra sobre una tonelada de peso en su superficie, representa la atracción que 5.842 trillones de toneladas ejercen sobre una tonelada situada á 1.590 leguas de distancia, que es el radio medio terrestre. Si el peso de la Tierra fuese únicamente de la mitad de la cifra anterior, es claro que la atracción se reduciría asimismo á la mitad, y por lo tanto, el peso de una tonelada, siendo atraído con una fuerza una mitad menor, pesaría sólo media tonelada, así que el esfuerzo muscular necesario para soportar este peso se hallaría reducido á la mitad. Ahora comprenderemos sin trabajo, que lo que en la Tierra pesa un kilogramo, no pesará la misma unidad en la Luna, sino tan sólo $\frac{1}{80}$ del peso en la Tierra. ¿Cuál es, pues, la relación entre un kilogramo en la superficie del globo y el mismo peso transportado al globo lunar? Parece que, puesto que la masa de la Luna es la $\frac{1}{80}$ de la masa terrestre, un kilogramo transportado á la Luna debería pesar la cuadragésima parte de un kilogramo terrestre, y así sucedería, en efecto, si la distancia del centro de la Luna á la superficie fuese igual á una distancia análoga en la Tierra; pero el radio de la Luna es tan sólo $\frac{1}{37,68}$ del radio terrestre y la fuerza de la gravedad varía en razón inversa del cuadrado de la distancia que medie entre los centros de los cuerpos que se atraen; como en el caso presente, por ejemplo, la distancia que haya entre el centro de la pesa de un kilogramo y el centro de la Luna. Así que la atracción de la Luna sobre un cuerpo situado en su superficie, comparada con la acción de la gravedad terrestre, es igual á $\frac{1}{80}$ multiplicada por el cuadrado de $\frac{1}{37,68}$, relación que equivale á $\frac{1}{6}$; la fuerza de gravedad en la superficie de la Luna viene á ser la sexta parte de la fuerza de la gravedad media en la superficie del globo, por manera que la pesa de un kilogramo sólo pesará en la Luna la sexta parte, esto es, 166 gramos. Una consecuencia muy importante se desprende de este hecho: que cualquiera clase de fuerza, bien sea muscular, como la del hombre ó los animales; dinámica, como la de un muelle; química, como la de la pólvora, etc., será en la Luna seis veces más poderosa que en la Tierra. Un hombre que pudiera en nuestro globo dar un salto de dos metros, daría en la Luna, con el mismo esfuerzo muscular, un salto de doce metros; un cuerpo que fuese lanzado por la fuerza explosiva de la pólvora á una altura de un kilómetro en la superficie de la Tierra, se elevaría en la Luna, con la misma cantidad de pólvora, á una altura de 6.000 metros.

En los tratados populares de Astronomía se indican sólo, por lo general, los resultados numéricos que hemos presentado en las páginas anteriores, y el lector, que no ve cómo ha podido obtenerse el valor que se le señala, duda de la

certidumbre y exactitud de la cifra; por este motivo hemos creído oportuno presentar, de un modo tan breve y conciso como nos ha sido posible, la marcha que se sigue para averiguar el valor de estos elementos, al parecer inaccesibles.

La rapidez del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra fué sin duda la primera noción que en los antiguos siglos tuvieron los hombres de la comparativa proximidad de nuestro satélite; casi al mismo tiempo que los primeros observadores notaron que los cuerpos celestes tenían diversos movimientos aparentes, hubieron de percibir que los cambios diarios de la posición de la Luna eran mucho más considerables que los de cualquier otro mundo de los cielos. Según se desprende, por la diferencia que Job establece entre el Sol y la Luna, por algún tiempo hubo de considerarse nuestro satélite como el único cuerpo dotado de movimiento propio en la celeste bóveda; dice así el texto bíblico: «Si miré al Sol cuando resplandecía y á la Luna cuando caminaba con claridad» (Job, capítulo xxxi, v. 26); precediendo también el descubrimiento del circuito anual del Sol al de los movimientos de los planetas. Sea de esto lo que quiera, podemos, no obstante, asegurar que en tiempos remotos considerarían los astrónomos, que de todos los cuerpos que surcan los espacios, ninguno se mueve con velocidad superior á la de la Luna, y como consecuencia hallamos que, aun en la infancia de la ciencia astronómica, se admitía que la Luna era el cuerpo celeste más próximo á la Tierra.

En el sistema de Pitágoras, que consistía en suponer que los sonidos musicales eran producidos por la revolución de las esferas que sustentaban á los planetas, se asignaba la nota más alta de la armonía celeste á la esfera cristalina de la Luna.

Si los astrónomos caldeos llegaron á determinar la distancia de la Luna, fundándose en sus propias observaciones, cosa es que no se puede comprobar satisfactoriamente; si así lo hicieron, es probable que su determinación estuviera basada en un estudio particular y escrupuloso de los movimientos de la Luna, emprendido con objeto de predecir los eclipses con mayor aproximación. A pesar de esto, la primera determinación de la distancia de la Luna que ha llegado á nuestra noticia, hay que atribuirla á los filósofos de la escuela de Alejandría; Aristarco de Samos (280 antes de J. C.) trató de comparar las distancias del Sol y de la Luna por un método de observación poco adecuado para la resolución de problema tan difícil, si bien no resulta que haya tratado de investigar particularmente la cuestión de la distancia de la Luna; 125 años después, emprendió Hiparco la resolución de ambos problemas, obteniendo en el primero un resultado tan defectuoso como el de su antecesor, y en el segundo, gracias á un método eficaz en sus manos, un éxito más lisonjero, según nos refiere su sucesor Ptolemeo.

Parece que el estudio escrupuloso de los movimientos de la Luna, con objeto de determinar su curso á través de las constelaciones y de las leyes exactas en cuya virtud camina, indujo á Hiparco á atacar el problema de la distancia de nuestro satélite; este astrónomo, desprovisto de instrumentos ópticos, y con dos ó tres círculos llamados *armellas*, determinó la excentricidad de la órbita lunar, su inclinación respecto de la eclíptica, y probablemente también cierta desigualdad del movimiento de la Luna que se llama *evención*. Si fué Hiparco, en efecto,

el que hizo estos descubrimientos, ó si hay que atribuirlos á Ptolemeo, es lo cierto que los trabajos del astrónomo alejandrino no le hubieran permitido obtener este resultado sin el conocimiento previo de la proximidad de la Luna á la Tierra, en comparación á las distancias que nos separan de los demás cuerpos celestes, y sólo por el estudio de estos efectos pudo formar una idea bastante aproximada de la distancia de la Luna; no conservamos, sin embargo, ningún detalle de los resultados obtenidos por Hiparco, y únicamente en las páginas del *Almagesto*, escrito por Ptolemeo dos siglos y medio después, hallamos la primera explicación de los métodos usados por los astrónomos anteriores, para determinar la distancia á que se encuentra la Luna.

Cuando los geómetras quieren conocer en la superficie de la Tierra la distancia de un punto á otro inaccesible, separado del primero, por ejemplo, por obstáculos que no impiden dirigir una visual, verifican una operación muy sencilla, una triangulación, de la que deducen fácilmente la distancia buscada. Dimos antes una ligera idea de esta operación al hablar de las dimensiones de la Tierra y creemos llegado el caso de ampliarla.



Fig. 127. — Medida de la distancia de un punto inaccesible.

Sea A el lugar del observador y B el punto inaccesible; sobre el terreno se traza una base rectilínea de longitud conocida AC (fig. 127). En A se mide por medio de un círculo graduado, el ángulo que forma la visual BA con la base AC. En C se mide de la propia manera el ángulo BCA; el triángulo ABC queda, pues, determinado, puesto que conocemos un lado que es la base, y la inclinación respectiva de los otros dos lados, formados por las visuales AB y CA. La geometría nos permite construir gráficamente una figura en la que se hallará situado el punto B, y llevando entonces, cuantas veces sea necesario, con una misma abertura de compás la longitud

conocida de la base AC, desde ésta hasta el punto B, quedará determinada su distancia.

Pongamos un ejemplo práctico; nos hallamos en el campo, en un terreno llano, y en el horizonte se distingue la aguja de un campanario, del cual nos separa una gran distancia, y á cuyo pie no podemos llegar, por impedirnoslo un río que no tenemos medios de atravesar; queremos determinar la distancia á que se encuentra el campanario, sin separarnos del llano en que nos hemos situado. Veamos de qué medios, fundados en el principio anterior, podemos valernos; en C, punto en que nos encontramos (fig. 128), plantamos un jalón ó estaca; en otro punto, B, plantamos un segundo jalón, á una distancia bastante grande, comparativamente á la longitud probable que se trata de determinar.

Los dos jalones C B forman una línea recta, que se puede medir fácilmente con una cinta métrica, con una cadena de agrimensor ó por cualquiera otro medio. Supongamos que CB es igual á 428 metros y 60 centímetros; esta es la base de nuestra operación. Ahora, por medio de un instrumento llamado *grafómetro*, de mucho uso entre los agrimensores, mediremos desde C y B el ángulo que

forma el campanario con la línea de la base, y obtenemos así todos los elementos que necesitamos para resolver nuestro problema. Por una parte conocemos la longitud exacta de la línea BC, puesto que la hemos medido directamente; el ángulo ACB tiene su vértice en C y podemos suponerlo igual á $80^{\circ} 29'$, y el ángulo ABC, cuyo vértice está en B, vale por ejemplo 75° ; esto es todo lo que necesitamos para conocer las demás partes del triángulo ABC y poder trazar en un papel una imagen semejante, con las proporciones que se quiera, de suerte que con el auxilio de un compás y una regla dividida, será fácil saber el número

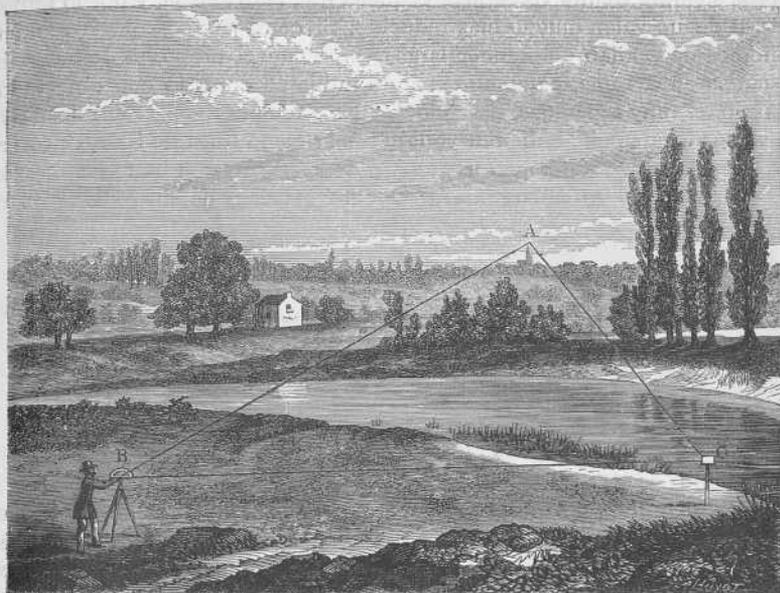


Fig. 128 - Medida de la distancia que separa un punto de otro punto inaccesible

de metros contenidos en el lado CA del triángulo, que en el caso presente es igual á 992^m .

Si nos fuera posible determinar con toda exactitud el valor de los ángulos y la longitud de la base, hallaríamos con toda exactitud también la verdadera distancia del punto que se tratase de averiguar, pues el método es riguroso; pero, por desgracia, no lo son tanto los instrumentos que se emplean para las observaciones; así pues, la determinación de las distancias de los puntos inaccesibles es sólo aproximada á la verdad, muy aproximada si se quiere, pero siempre inexacta.

Otra causa de error es la pequeñez de la base, respecto de la distancia que haya de medirse, defecto que en las mediciones que se verifican en la superficie del globo puede casi siempre remediarse; pero no podemos decir otro tanto cuando se trata de las distancias celestes. De aquí la dificultad que experimentan los astrónomos en la aplicación de este método para averiguar la distancia

de los cuerpos celestes, pues la base tiene que ser siempre excesivamente pequeña en comparación á las distancias que se desea determinar; tan sólo cuando se trata de la Luna pueden los astrónomos emplear este método con alguna probabilidad de éxito, y aun en este caso el problema está erizado de dificultades.

La distancia que hay entre la Tierra y la Luna es unas treinta veces mayor que el diámetro terrestre; por manera que si nuestro satélite hubiera estado situado en el campanario de la figura, y la base AC fuese el diámetro de la Tierra, resultaría siempre treinta veces más pequeña que la distancia, y por lo tanto, el ángulo B de un valor mucho más reducido. Si consideramos que los antiguos astrónomos no podían emprender largos viajes con el propósito de determinar la distancia de la Luna, y que aun cuando hubiesen contado con observadores en estaciones muy separadas, desconocían las posiciones geográficas exactas de los diversos lugares que hubieran podido tomar como línea de base, es sorprendente que Hiparco y Ptolemeo hayan podido averiguar con bastante aproximación la verdadera distancia de nuestro satélite. Hiparco demostró, sin embargo,

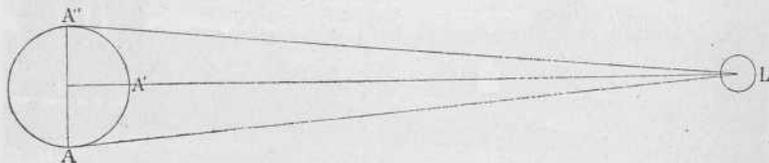


Fig. 129. — Medición de la distancia de la Luna; método de Hiparco

de qué medios podía valerse un astrónomo para resolver este problema sin necesidad de abandonar su observatorio; el movimiento de rotación de la Tierra transporta diariamente la estación del astrónomo alrededor de un círculo inmenso, y basta observar el efecto que este movimiento produce en las posiciones de la Luna, para poder formar un cálculo bastante aproximado de la distancia que se obtendría por observaciones hechas en dos lugares separados. Es verdad que Hiparco, probablemente, y Ptolemeo, de seguro, considerarían inmóvil la Tierra, pero esto no tiene importancia alguna, en cuanto á lo que se refiere á la determinación de la distancia de la Luna, y lo mismo da que se considere que nuestro satélite gire con movimiento propio por la bóveda de los cielos, como que sea la Tierra la que dé vueltas alrededor de su eje.

Examinemos ahora las condiciones en que debe verificarse la observación; en primer lugar supongamos que la Luna se encuentra inmóvil en el ecuador celeste, en L (fig. 129); un observador colocado en A se transfiere, en virtud del movimiento del globo, de A á A', y por último á la extremidad diametralmente opuesta A''; en este punto se encuentra la Luna en el momento de la observación, en el horizonte oriental, y cuando el observador pasa al lugar A'', hállese de nuevo la Luna en el horizonte, pero al Oeste; cuando el observador ocupa el punto A' á mitad del camino de A y A'' se encuentra la Luna en su cenit, pues suponemos que se situó en la línea equinoccial; así, pues, la Luna sale exactamente por el Este, pasa por el cenit y se pone por el punto matemático del Oes-

te; entre las dos posiciones opuestas que ocupa el observador en el transcurso de doce horas, media un diámetro terrestre, que es el que sirve de base para medir la distancia de la Luna.

Un método más exacto de determinar esta distancia consiste en elegir dos estaciones apartadas, cuyas posiciones geográficas se conozcan con la mayor aproximación posible; sea A un lugar de la Tierra (fig. 130) en el cual se observe la Luna L en el momento en que pase por el meridiano; el observador mide por medio del círculo mural la distancia cenital de la Luna, ó sea el ángulo ZAL; en el mismo meridiano existe un lugar C en el cual pasa la Luna por el meridiano y por el cenit además en el mismo instante que en A; TCL es, pues, una línea recta. Si se conoce la diferencia de latitud de los lugares A y C, es decir, el arco AC, medida del ángulo ATC, quedará determinado el triángulo LAT, puesto que el radio de la Tierra TA es conocido lo mismo que los ángu-

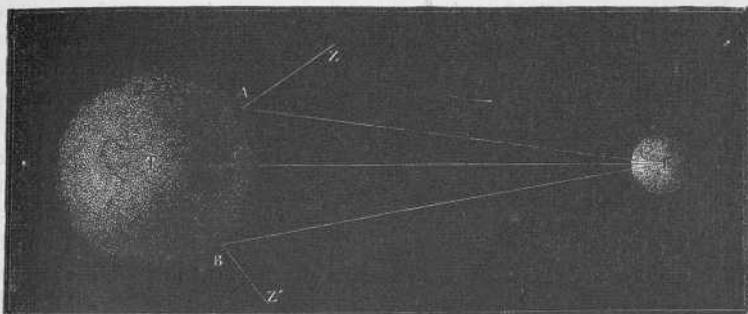


Fig. 130. — Medición de la distancia de la Tierra á la Luna

los de la base en A y en T. Se podrá, pues, calcular la distancia TL ó sea la paralaje de la Luna ó ángulo bajo el cual se vería desde el centro de nuestro satélite el radio TA de la Tierra; esto es á lo que se da la denominación de *paralaje de altura*.

En la práctica se procede del modo siguiente: dos observadores situados en un mismo meridiano, pero en distintos hemisferios, el uno en A y el otro en B, miden al mismo tiempo la distancia cenital de la Luna en cada estación en el momento en que corta el meridiano. Los ángulos ZAL y Z'BL se conocen, pues, y por consecuencia sus suplementos TAL y TBL; las latitudes de ambos lugares son conocidas también, luego estamos en aptitud de conocer asimismo el ángulo ATB, que es la suma ó la diferencia de las latitudes, según que los puntos A y B se encuentren en un mismo hemisferio ó á lados distintos del ecuador; también los radios terrestres TA, TB, pueden ser desiguales.

Construyendo un cuadrilátero semejante á TALB y trazando la tangente LA' se tendrá al mismo tiempo la paralaje horizontal A'LT y la distancia TL de los centros de la Luna y de la Tierra.

En realidad, no es así como se procede, y estas cantidades se determinan por el cálculo. Una de las primeras series de observaciones emprendidas para

fijar la distancia de la Luna, se llevó á cabo por Lacaille en 1750, desde el Cabo de Buena Esperanza; comparando sus resultados con los que se obtuvieron de observaciones hechas en Europa, dedujo que el valor de la paralaje horizontal de la Luna debía ser de $57' 13''.1$, valor que corresponde á una distancia media de 104,762 leguas; pero Lacaille desconocía la verdadera configuración de la Tierra, asignándole mayor depresión de la que en efecto le corresponde; suponía que el diámetro ecuatorial era superior al polar en la proporción de 201 á 199, cuando la proporción sólo es, aproximadamente, de 300 á 299, ó lo que es igual $\frac{1}{300}$. Aplicando esta corrección á los resultados de Lacaille, se encuentra como valor de la paralaje horizontal $57' 4''.6$, que corresponde á una distancia superior á la obtenida anteriormente en 256 leguas.

Mientras Lacaille observaba en el Cabo de Buena Esperanza, efectuaba en Berlín las observaciones correspondientes el astrónomo francés Lalande, que en aquella época sólo contaba 19 años; comparando sus resultados con los de Lacaille obtuvo una paralaje de $57' 3''.7$ que corresponde á 105,048 leguas; aquí debemos hacer notar que se escogieron los dos puntos indicados como estaciones extremas, por hallarse situados, con muy escasa diferencia, en un mismo meridiano, y que, por lo tanto, la Luna pasaba casi al mismo tiempo por este plano en ambos puntos.

Burg comparó las observaciones del Cabo con las de Greenwich y halló una distancia media de la Luna igual á 105,130 leguas; Henderson, el primer astrónomo que determinó la distancia de la famosa estrella alfa del Centauro, hizo una serie de observaciones lunares en el Cabo de Buena Esperanza en 1832 y 1833 con medios instrumentales muy imperfectos; comparando estas observaciones con las efectuadas en Greenwich y Cambridge dedujo como valor de la paralaje lunar $57' 1''.8$, ó sea una distancia de 105,106 leguas. Probablemente el valor más exacto con que contamos es el obtenido por el profesor Adams, el rival de Le Verrier, de una serie de observaciones correspondientes, efectuadas en el Cabo de Buena Esperanza por Mr. Sreen, y en Cambridge y Greenwich por los astrónomos de estos establecimientos; según Adams, el valor de la paralaje lunar es de $57' 2''.7$ y la distancia á que se encuentra de la Tierra 105,079 leguas.

En el cuadro siguiente se encuentran reunidos todos los valores que hemos ido enumerando para que el lector pueda apreciarlos de una sola ojeada:

ELEMENTOS DE LA LUNA

| | | |
|--|----------------------------|--------------|
| Diámetro. | 870 leguas | |
| Circunferencia de un círculo máximo. | 2,735 | » |
| Superficie. | 2 375,000 | » cuadradas |
| Volumen. | 86.523,437 | » cúbicas |
| Masa ó peso. | 73.000,000.000.000.000 000 | de toneladas |

Ahora que conocemos las dimensiones del radio de la Luna, podemos completar nuestra explicación respecto de las distancias á que se encuentra de la Tierra, en diversos puntos de su órbita; para obtener la distancia más corta, ó

sea la que media entre los dos puntos más próximos de ambas superficies, tenemos que restar la suma de los radios de la Tierra y de la Luna.

| | | Radios ecuatoriales | En leguas |
|---|--------------------|------------------------|-----------|
| Mínimas distancias de la Luna á la Tierra | { apogeo. | 61,310 | 99,334 |
| | { media. | 59 000 | 94,066 |
| | { perigeo. | 55,691 | 88,780 |

Así, pues, en ciertos momentos, nos encontramos de la Luna á sólo 88,780 leguas, menos de nueve veces la circunferencia ecuatorial de la Tierra; de la Península á la Habana hay, poco más ó menos, 1,600 leguas marinas que vienen á ser 2,200 leguas métricas, única medida que hemos empleado en todo el curso de esta obra; se necesitaría hacer tan sólo 22 viajes redondos, esto es, de ida y vuelta, para recorrer una distancia igual á la que nos separa de nuestro satélite; sin duda que muchos marinos han ido y vuelto de España á Cuba más de 22 y más de 40 veces. Un tren de ferrocarril echaría en cruzar el espacio que nos separa de nuestro satélite unos diez meses. La velocidad del sonido en el aire es de unos 331 metros por segundo, y suponiendo que la atmósfera terrestre se extendiese hasta la Luna, para que el sonido tuviese un medio de propagarse, y si suponemos también que en la época del novilunio ocurriese en la superficie de nuestro satélite una erupción volcánica, no llegaría á nuestros oídos el estruendo de la explosión sino al cabo de 14 días; por manera que cuando nos enterásemos del hecho, habrían transcurrido dos fases lunares y nos encontraríamos en la Luna llena siguiente; una bala de cañón franquearía la misma distancia en 4 días y 13 horas, suponiéndola dotada de una velocidad constante de 900 metros por segundo. Por último, la luz, que es el movimiento más rápido que se conoce, tarda en venir de la Luna á la Tierra la cuarta parte de un segundo.

Sólo nos referimos á móviles de velocidad constante; del propio modo podríamos calcular el tiempo que emplearía un cuerpo en caer desde el centro de la Luna al centro de la Tierra, ó lo que viene á ser lo mismo, el tiempo que tardaría la Luna en reunirse á nuestro planeta, si la fuerza tangente que combinada con la gravedad la hace describir su órbita, se anulase de pronto. Al cabo de 6 días 5 horas 40 minutos y 13 segundos, se consumaría la catástrofe, cuyas espantosas y terribles consecuencias no tenemos precisión de describir, pues fácilmente se las representará el lector.

Suponiendo que la Tierra permanezca inmóvil en el espacio, ofrece la órbita elíptica de la Luna un desarrollo de 600,000 leguas, y como nuestro satélite recorre este camino en 27 días y $\frac{1}{31}$, su velocidad media viene á ser de unos 1,000 metros por segundo; esta velocidad es, sin embargo, variable, aumentando cuando la Luna se encuentra más cerca de la Tierra ó sea en el perigeo, en cuyo caso recorre 1,080^m, y en el apogeo ó distancia máxima, sólo 970^m.

Pocas personas habrán dejado de notar el tamaño considerable que presenta la Luna en el horizonte; si aguardamos, para hacer la observación, que el cielo

esté despejado y sin nubes, y el momento del plenilunio, veremos que al salir la Luna por el Oriente presenta su rojizo disco unas dimensiones colosales, siendo al mismo tiempo muy débil su luz. A medida que se va elevando, disminuyen sus dimensiones, pierde su color encarnado y aumenta progresivamente su intensidad luminosa, hasta que al cabo se presenta de su tamaño normal; en el punto más alto de su carrera, cuando pasa el astro por el meridiano, obtiene el disco su menor magnitud aparente. Este contraste entre el tamaño de la Luna en el horizonte y en su mayor elevación sobre él, es tanto más sensible, cuanto por efecto de su movimiento ó de la posición del lugar del observador se aproxima más la Luna al cenit.

Idéntico fenómeno se reproduce al descender la Luna al lado opuesto del horizonte, hasta que desaparece por la región occidental del cielo. Es imposible sustraerse al influjo de esta ilusión aun cuando se sepa que el diámetro real de

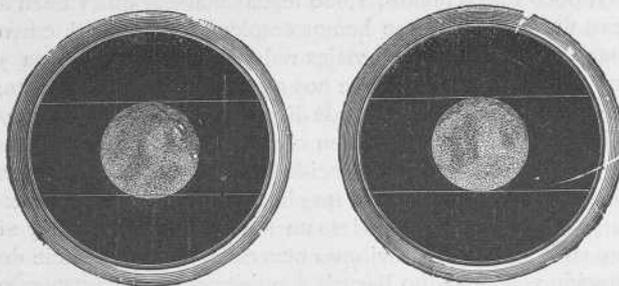


Fig. 131. — Diámetro de la Luna en el horizonte y en el cenit

la Luna no sufre modificación de ninguna especie; por otra parte, el mismo fenómeno se observa en el disco solar, que también parece mayor en el horizonte que en el meridiano, y en la distancia ó intervalos angulares de las estrellas, mucho

menos considerables en la apariencia cuando se encuentran á cierta altura que en las inmediaciones del horizonte.

Son diversas las explicaciones que se han dado de esta apariencia singular, siendo la más probable y racional la que debemos al célebre geómetra Eulero; según éste, hay que atribuir el fenómeno á la forma abovedada del cielo, en cuya virtud, juzgamos que el horizonte y los puntos inmediatos del firmamento se encuentran más distantes ó lejanos que las partes que se hallan sobre nuestras cabezas. Las dimensiones angulares del objeto observado son siempre las mismas en el horizonte y en el cenit, y al considerarlas más lejanas deben parecernos mayores.

Un experimento muy fácil de verificar nos confirmará en esta idea; además de la explicación de Eulero, podemos, en el caso del Sol y de la Luna, pero no de las estrellas, hacer intervenir también la diferencia en la intensidad luminosa que ofrecen, en el horizonte y en el meridiano, los dos luminares del día y de la noche. Si aguardamos en una estación de ferrocarril, por la noche, la llegada de un tren, y dirigimos nuestra vista á la locomotora, distinguiremos en su parte anterior dos faroles, uno rojo y otro blanco, muy brillantes; ambos se encuentran colocados en un mismo plano, y á pesar de eso, nos parecerá que el rojo se halla mucho más distante y que pertenece á uno de los coches de la cola del tren; por más que queramos acostumbrarnos á considerar ambas luces á una

misma distancia, no nos es posible sustraernos á esta ilusión, y siempre que veamos el tren nos parecerá que la luz roja se halla mucho más lejos que la blanca. Del propio modo, acostumbrados al brillo de la Luna en el cenit, cuando la vemos oscurecida en el horizonte, sin querer la imaginamos mucho más distante, y como en realidad no lo está, á despecho nuestro se convierte este argumento de longitud en medida superficial y vemos el disco con las enormes dimensiones que conocemos.

Las medidas astronómicas demuestran de un modo indudable, por otra parte, que en esto sólo hay un error de nuestros sentidos, pues el diámetro aparente de la Luna es, precisamente, mayor en el cenit que en el horizonte, lo cual se demuestra sin dificultad, con auxilio de un anteojo provisto en su plano focal de dos hilos paralelos, cuyo intervalo sea tal que queden tangentes al borde del disco cuando aparece la Luna por el horizonte (figura 131); en el momento en que pasa el astro por el meridiano se ve que el disco sobresale de los hilos, si se ha tenido cuidado de que éstos no sufran alteración en sus distancias ni en su paralelismo.

Y así es, en efecto, como debe suceder. Cuando la Luna aparece en el horizonte de un

observador A (fig. 132), su distancia AL se aparta poco de la distancia que separa el centro de la Tierra del centro de la Luna; cuando, en virtud del movimiento diurno de rotación, el horizonte A se transfiere á A' y la Luna pasa por el cenit, la distancia $A'L$ es menor que la distancia de los centros en una cantidad igual al valor del radio terrestre; el observador se ha acercado, pues, á la Luna, y por lo tanto las dimensiones angulares del disco tienen que haber aumentado.

Además de su movimiento de revolución alrededor de la Tierra, posee la Luna otros varios, siendo uno de los más importantes el de rotación sobre su eje.

La realidad de este movimiento se prueba por el hecho, que ya hemos tenido ocasión de examinar, de que la Luna presenta siempre á la Tierra la misma porción de su superficie, el mismo hemisferio; en efecto, siempre se observan las mismas manchas oscuras y permanentes, durante las revoluciones sucesivas, abstracción hecha de ciertas oscilaciones periódicas de las que en breve vamos á ocuparnos, y que descubren, ora al Norte y al Sur, ya al Este y al Oeste, ciertas porciones del hemisferio invisible. Este hecho demuestra por sí mismo que el período de la rotación es precisamente igual al de la revolución sidérea, es decir, 27 días y 8 horas próximamente.

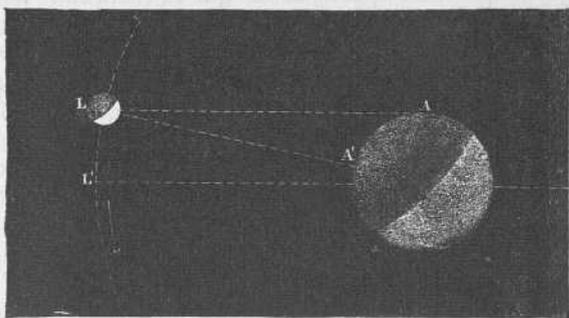


Fig. 132. - Variación en la distancia de la Luna del horizonte al cenit

En los *Diálogos* de Galileo, dice Simplicio que la Luna nos presenta siempre la misma faz y de aquí deduce que no gira sobre sí misma; esta consecuencia, de todo punto inadmisibile, tan sólo se apoyaba en que Simplicio y los astrónomos de su tiempo admitían que la Luna era arrastrada con la esfera de cristal que se suponía que le servía de apoyo.

Cierto es que, relativamente á las partes materiales de esta supuesta esfera, no giraría la Luna, pero en el espacio su movimiento de rotación es evidente, toda vez que un observador colocado por fuera de la curva descrita hubiera visto de un modo sucesivo todas las porciones del astro.

Si el tiempo que la Luna invierte en girar sobre su eje es de igual duración, exactamente, al que necesita para hacer su revolución en torno de la Tierra, claro es que en este caso ha de presentarnos siempre el mismo lado; pero, por pequeña que fuese la desigualdad que existiera entre ambos movimientos, á la larga concluiríamos por distinguir la región del astro que hoy por hoy es invisible. Pudiera ser la diferencia angular entre la faz observada en una lunación, comparada con la Luna siguiente, tan sólo de alguna fracción de segundo, la cual, acumulándose en el transcurso de los siglos, podría llegar á producir efectos sensibles. En cuanto al hecho, podemos asegurar que las duraciones de la rotación y de la revolución de nuestro satélite son exactamente iguales entre sí, y que vemos en la época presente la misma faz de la Luna que contemplaron los antiguos hace más de 2,000 años; en efecto, hoy día, en la Luna llena, distinguimos, como antes hemos dicho, los contornos de una cara humana, descrita por Plutarco á principios de nuestra era; luego la región de la Luna que vemos es la misma de que habla el historiador griego.

La Luna, pues, en su movimiento circulatorio alrededor de la Tierra, nos presenta siempre la misma faz, resultando inevitablemente la consecuencia de que nuestro satélite gira sobre sí mismo en un tiempo igual al que invierte en verificar su revolución alrededor del globo terrestre; difícilmente se comprende que esta consecuencia haya podido jamás ser puesta en duda, y que hombres de talento é instrucción no hubiesen reconocido que si el globo lunar no girase sobre su centro, que si durante su movimiento circulatorio no estuviese dotado de un movimiento de rotación y que permaneciese constantemente paralelo á sí mismo, la faz del globo que nos presentaría, después de cada media revolución, habría de ser opuesta á la que veíamos anteriormente. Pongamos un ejemplo vulgar, para aclarar este punto por completo y llevar el convencimiento al ánimo del lector; supongamos que asistimos á una función de circo ecuestre, y que un caballo recorre la pista haciendo sus conocidos ejercicios. Para el picador que se encuentra en el centro del redondel, presentará el caballo siempre el mismo costado, el izquierdo, por ejemplo; pero procedería con mucha ligereza el individuo que, fundándose en este hecho, afirmase que al mismo tiempo que el caballo daba una vuelta completa al circo no había girado una vez sobre su eje; y la prueba es concluyente. Pues en vez de fijarnos en la perspectiva que se ofrece al picador, consideremos lo que verá un individuo colocado en la parte exterior del circo, esto es, uno de los espectadores. Cuando el caballo pase por delante de él, le presentará el costado derecho; á un cuarto de vuelta, la grupa; á la mitad, el costado izquierdo; á los tres cuartos, la

cara y parte anterior; y finalmente, al concluir la vuelta completa, otra vez el costado derecho; es, pues, indudable que hemos visto el caballo por todas partes lo mismo que si hubiera girado sobre un eje vertical, con la particularidad de que el movimiento rotatorio ha sido de igual duración que el movimiento de traslación.

Veamos ahora si la explicación anterior es aplicable á la Luna, observándola durante el curso completo de una lunación, por ejemplo, de un plenilunio al plenilunio siguiente; unamos el centro de la Tierra al centro de la Luna (fig. 133) y este radio vector encontrará la superficie del astro en un punto A que será el centro del disco, según ha de verlo un observador situado en nuestro globo; la mancha particular que presenta el astro en este punto, continuará ocupando el centro, en todas las fases sucesivas siguientes, para el observador

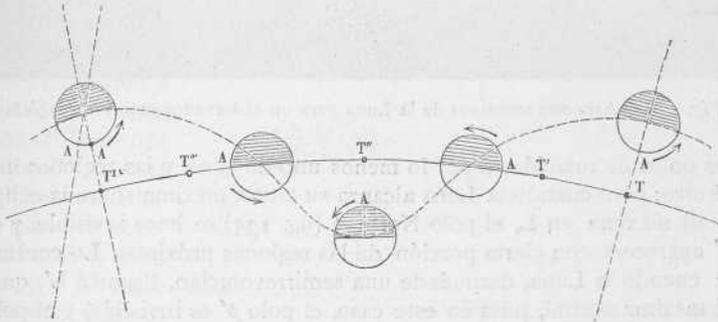


Fig. 133. - Igualdad de la rotación de la Luna y de su revolución sidérea

cuyas posiciones irán siendo los puntos T, T', T'', T''' y Tiv. El radio de la luna que termina en el punto A ha debido tomar, pues, en el espacio, la serie de direcciones indicadas en la figura A T, A T' y AT'', etc., es decir, que se habrá movido angularmente alrededor, describiendo una circunferencia de círculo al llegar, en virtud del movimiento de traslación de la Luna, á ocupar una dirección paralela á la dirección primitiva A T; este momento precede, por otra parte, á la época de la conjunción, puesto que, en este instante, el radio A T' forma con su dirección primitiva un ángulo igual, precisamente, al ángulo descrito por la Tierra en su órbita. La rotación, como vemos, se efectúa, pues, en el mismo intervalo de tiempo que la revolución sidérea de la Luna y en el mismo sentido que su revolución, ó sea de Occidente á Oriente.

Si comparamos á la figura anterior la figura 134, nos convenceremos de que las cinco posiciones del globo lunar son idénticas á las que presentaría una esfera dotada sólo de movimiento rotatorio, vista desde una distancia exterior infinita.

Admitido el movimiento de rotación del globo lunar, hemos de investigar ahora en su superficie los polos de rotación, es decir, los puntos donde termina el eje á cuyo alrededor se verifica el movimiento. Acabamos de decir que siempre es el mismo punto, la misma mancha de la superficie de la Luna la que ocupa el centro del disco, lo cual no es rigurosamente exacto, pues, en realidad,

experimentan las manchas ciertos movimientos que han recibido el nombre de *libraciones*, cuyas causas vamos á enumerar brevemente.

En primer lugar, el eje de rotación de la Luna no es perfectamente perpendicular al plano de la órbita, sino que su ecuador forma con este plano un ángulo de unos $3^{\circ} 39'$, resultando que el propio eje es casi perpendicular al plano de la eclíptica y órbita de la Tierra, pues su inclinación es tan pequeña, que sólo alcanza un valor de $1^{\circ} 28'$.

Al encontrarse la Luna en uno de sus nodos, se distinguen desde la Tierra

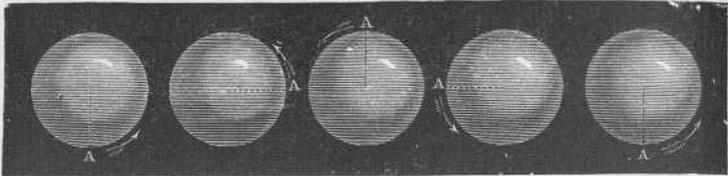


Fig. 134. - Aspectos sucesivos de la Luna para un observador exterior á la órbita

sus dos polos de rotación, ó por lo menos uno de ellos, y las regiones inmediatas del otro; pero cuando la Luna alcanza su altura máxima sobre la eclíptica, ó su latitud máxima en L , el polo Norte p (fig. 135) se hace invisible, y el polo Sur p' aparecerá con cierta porción de las regiones próximas. Lo contrario sucederá cuando la Luna, después de una semirrevolución, llegue á L' , que es su latitud máxima austral, pues en este caso, el polo p' es invisible, y el polo p es el que se puede observar; en ninguno de los tres casos forma el mismo punto ó mancha, el centro aparente del disco lunar, pues sucesivamente es ocupado

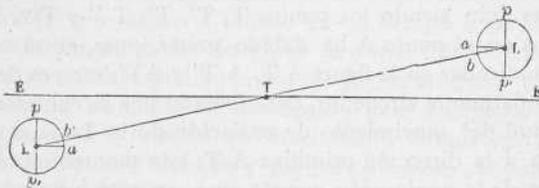


Fig. 135. - Libración de la Luna en latitud

por los puntos a , b y b' , cuya posición, y por consecuencia su latitud, es variable.

Este movimiento se llama *libración en latitud*.

El movimiento de rotación de la Luna es uniforme, al paso que su movimiento elíptico de revolución se efectúa con una velocidad variable, máxima en el perigeo y mínima en el apogeo. Esta diferencia produce una oscilación en las manchas en el sentido de la longitud, ó del Oeste al Este, que permite á un observador colocado en la Tierra ver algunas porciones de las regiones situadas en la parte oriental y occidental de la Luna, inmediatas á los bordes, más allá del hemisferio medio visible. Este movimiento se llama *libración óptica* ó *libración en longitud*.

Del movimiento de rotación de la Luna y de las apariencias de sus fases se deduce que cada punto de la superficie posee una noche y un día, según que la luz del Sol lo ilumina con sus rayos, ó que lo deja envuelto en la sombra; pero del mismo modo que en la Tierra, debemos distinguir en la Luna dos clases de días distintos, de duración desigual: el día sidéreo, que transcurre entre dos rotaciones sucesivas respecto de una estrella, y cuya duración es de $27^d 7^h 43^m 11.5^s$, y el día solar, que es el intervalo comprendido entre dos pasos consecutivos del Sol por un mismo meridiano de la luna, y cuyo período es igual al de una lunación ó revolución sinódica, comprensivo de $29^d 12^h 44^m 2^s,9$.

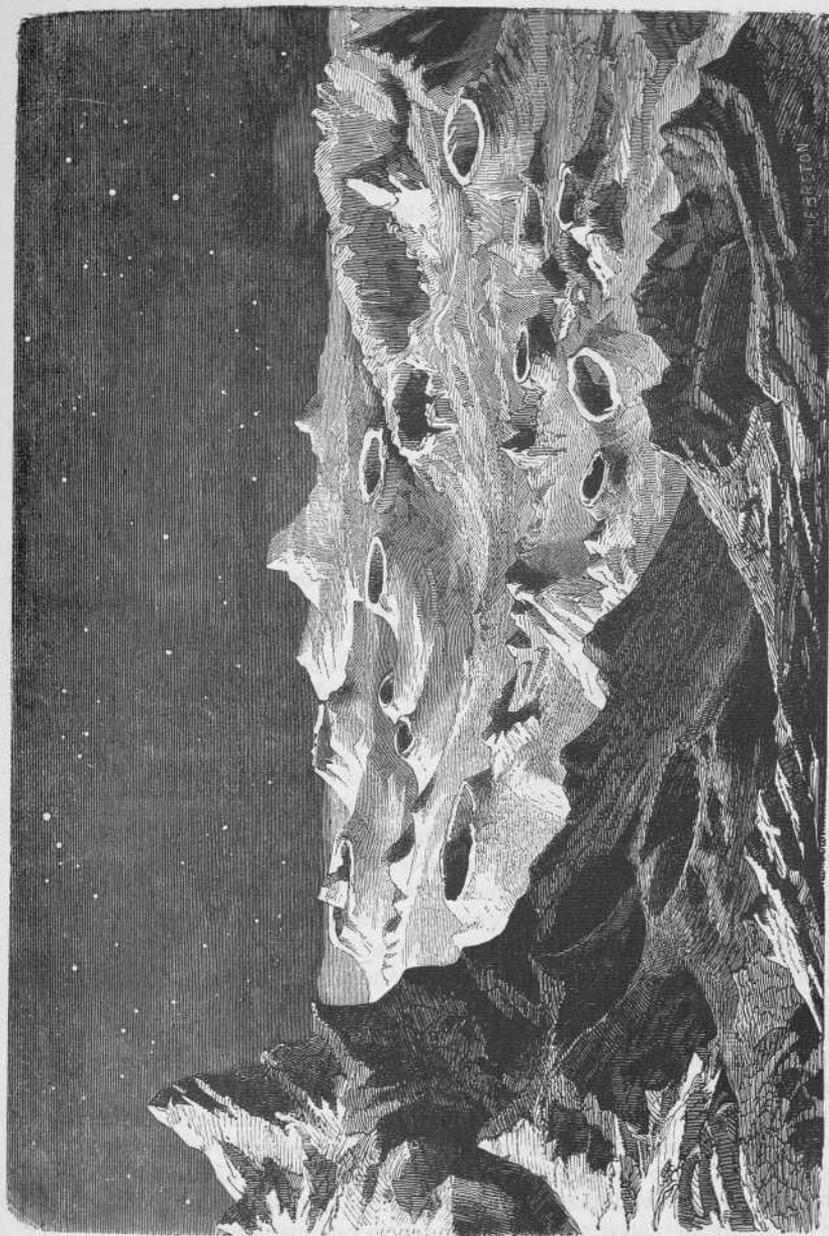
La diferencia entre el día solar en la Luna y el día sidéreo es, como hemos podido ver, de 53 horas y 51 minutos, mientras que la diferencia entre los días de igual denominación en la esfera terrestre sólo llega á $3^m 56^s$. La causa, empero, es la misma, y depende de que ambos astros, la Tierra y la Luna, al mismo tiempo que giran sobre su eje, se ven arrastrados en el espacio y describen un arco alrededor del Sol. Pero siendo la duración real de la rotación de la Luna 27 veces mayor que el período de la rotación terrestre, resulta para las diferencias de los días sidéreos y solares de ambos astros una desigualdad proporcional, más considerable.

Los días y las noches son desiguales en la superficie de la Luna, del mismo modo que en la Tierra, según la latitud lunar del punto que se considere; tan sólo en el ecuador permanecen constantes estos períodos y duran 354 horas y media, ó sea la mitad de una lunación. Esta desigualdad se debe también á la misma causa que la desigualdad de los días terrestres, es decir, á la inclinación del eje de rotación de la Luna sobre el plano de la eclíptica; pero como esta inclinación tiene un valor angular muy pequeño, la diferencia en la longitud de los días y las noches varía al principio de un modo insensible, adquiriendo cierta importancia á partir de los 60° ; en los mismos polos, permanece el Sol sobre el horizonte durante 179 días consecutivos, que es próximamente la mitad de un año.

Vemos, pues, que, aparte de ciertas porciones muy pequeñas, inmediatas á los polos, se siguen el día y la noche en la Luna con gran regularidad, siendo en extremo pequeña la desigualdad de los diversos días.

La duración media del día lunar es igual á la mitad de la revolución sinódica ó $14^d 18^h 22^m 1^s,4$; sin el movimiento de los nodos de la órbita lunar, el día interminable de los polos sería igual á medio año terrestre; este movimiento reduce su duración á 179 días, como acabamos de decir; á 46.000 metros de los polos, tan sólo discrepa el día más largo del día medio en una mitad más de la duración de este último.

En el mes de mayo de 1609 dirigió Galileo á la Luna, por primera vez, el anteojo que acababa de inventar; nuestro satélite hubo de ser uno de los objetos celestes á que con preferencia aplicase sus cristales el sabio florentino que descubrió en su superficie infinitas irregularidades; sin embargo, sólo después de haber fabricado su segundo anteojo, que aumentaba unas treinta veces, reconoció la verdadera conformación del suelo lunar, que supuso análoga á la que presentan los continentes y mares de nuestro globo. Con un instrumento de tan moderada fuerza óptica pudo, no obstante, bosquejar la silueta de las crestas de



UN PAISAJE LUNAR. — Vista ideal de la región montañosa del Sudoeste

algunas montañas que el Sol naciente iluminaba, mientras las partes inferiores permanecían en la sombra; las colinas que reflejaban la brillante luz solar que hería sus costados, y las elevaciones y depresiones profundas del terreno, claras las unas por los reflejos de la luz del Sol, y negras y oscuras las segundas. Vió asimismo que el límite de la luz solar en la Luna no está formado por una línea claramente definida, como sucedería si el globo lunar fuese una esfera lisa, según afirmaba Aristóteles, sino que el círculo terminador ofrecía un aspecto irregular y quebrado, como el de una sierra de montañas que se proyectase sobre un horizonte iluminado. De estas observaciones dedujo el sabio astrónomo que el mundo lunar estaba cubierto, no sólo de montes como los de nuestro globo, sino también que sus alturas eran muy superiores á las de los montes terrestres y sus formas casi siempre circulares.

Como decimos, el mejor anteojo de Galileo sólo amplificaba unas 30 veces el tamaño de los objetos, y al hablar del aspecto que presenta la Luna con este aumento, debemos tener presente que las apariencias visibles cambian de un modo considerable, en relación con el diámetro del objetivo del telescopio que se emplee; no se observan los mismos detalles con una ampliación de 30 veces aplicada á un objetivo de 10 pulgadas de diámetro, como con uno que sólo mida 2 pulgadas, pues la mayor cantidad de luz que recoge el primero permite que se distingan una porción de detalles, completamente invisibles en el anteojo de pequeña abertura; el que desee, por curiosidad, ver la Luna ó cualquiera otro objeto en las mismas condiciones que Galileo, debe usar un anteojo del mismo tamaño y tan defectuoso como el que fabricó el ilustre florentino, y de ningún modo colocar un ocular que amplifique treinta veces en un telescopio de grande abertura; un buen anteojo de larga vista, de los que construyen los famosos y hábiles ópticos de nuestros días, es muy superior al telescopio con que Galileo realizó sus portentosos descubrimientos.

Cuando se hace uso de un anteojo de abertura considerable, armado con un ocular de poca fuerza, y se dirige á un objeto brillante como la Luna, el exceso de luz que se recibe en el ojo hace que se contraiga la pupila, y disminuyendo su abertura, impide que penetre en el interior el haz entero de rayos luminosos que parte del ocular; aunque esto no es de grande importancia, ni se sigue de ello ningún inconveniente grave, no es menos cierto que se experimenta una pérdida de luz, sin utilidad alguna, y debe tenerse como regla que el poder más bajo que se aplique á un telescopio, dé un haz de rayos luminosos de un diámetro igual al que presente la pupila contraída, según el resplandor que prudentemente se calcula que vaya á recibir; esto es de la mayor importancia al observar objetos muy débiles, puesto que en este caso es necesario que penetre en el ojo el mayor número de rayos luminosos que sea posible.

Un examen ligero de la superficie lunar, con una ampliación pequeña como la que hemos indicado, basta para distinguir y conocer los principales caracteres del suelo de nuestro satélite. Lo que ante todo llama la atención del que por primera vez observa la Luna con un telescopio, es la inmensa preponderancia de las asperezas crateriformes y la tendencia que manifiestan á la forma circular cuantos accidentes se distinguen en la superficie del satélite; pues hasta las regiones mayores conocidas con el nombre de *mares*, y las más pequeñas del

mismo carácter como los *golfos*, en lo que pudiéramos llamar sus costas y orillas presentan también la redondeada forma de los cráteres. En la línea terminadora de la luz del Sol en el globo lunar es donde las manchas crateriformes se perciben mejor, pues en esa situación la salida y postura del Sol proyecta largas sombras sobre el paisaje lunar, presentándose las asperezas y elevaciones con relieves muy marcados. El tamaño de los cráteres es muy vario; unos ofrecen dimensiones tan considerables, como para poderlos comparar directamente con el diámetro de la Luna, al paso que otros son tan diminutos, que para estudiarlos es preciso emplear los telescopios más poderosos que se conocen y aprovechar los raros instantes en que la atmósfera se encuentra pura y despejada; es dudoso que hayan podido distinguirse los cráteres más pequeños, pues no hay razón para suponer que no existan en número sin cuento cráteres pequeñísimos que nuestros más poderosos telescopios no permitan analizar.

Del carácter persistente y del número de estas circunvoluciones dedujo Keplero que debían ser construcciones artificiales, suponiendo que fueran pozos excavados por los imaginarios habitantes de la Luna, para precaverse de la continuada é intensa acción de los rayos solares. Si hubiera conocido sus dimensiones reales, de las que daremos una idea cuando los describamos detalladamente, sin duda que el grande astrónomo hubiese rechazado esta hipótesis atrevida, que por otra parte, y hasta cierto punto, estaba justificada por la regularidad de esta forma extraña, que no se encuentra representada en nuestro globo sino rara vez y en comarcas muy limitadas.

Otras de las apariencias más notables de la Luna, observables con un moderado poder óptico, son las suaves llanuras que aparecen como manchas oscuras y que colectivamente cubren una porción considerable del disco; las mayores conservan el nombre de *mares*, término que se les dió cuando se supuso que fuesen cavidades inmensas llenas de agua, y hoy día se les llama del mismo modo, únicamente para evitar la confusión que pudiera originarse introduciendo nuevos nombres, pues está probado de una manera indudable que en la Luna no existe agua; siguiendo la misma nomenclatura, las manchas de menor dimensión han recibido los nombres de *lagos*, *bahías* y *pantanos*. Muchos de estos mares se hallan en parte rodeados por una especie de murallas, que examinadas con mayor detenimiento y anteojos más poderosos, se ha visto que son cordilleras de montañas de gran altura; la extraordinaria semejanza de forma que presentan las amuralladas llanuras con los cráteres circulares de gran tamaño, nos hace suponer que ambos fenómenos tienen un origen común; pero esta hipótesis se desvanece al considerar el tamaño inmenso de las primeras y el proceso de formación de los segundos.

En ciertas fases de la Luna, y desde luego en el plenilunio, se distinguen unas líneas y bandas brillantes, que parecen irradiar de algunos de los cráteres más notables, extendiéndose por cientos de leguas alrededor del globo lunar; ninguna formación selenológica ha excitado tanto la curiosidad de los observadores como estas radiaciones luminosas, sobre cuya constitución se han formulado infinitas teorías.

Como ahora sólo estamos examinando la Luna á la ligera, no podemos entrar en explicaciones sobre este punto concreto, ni tampoco sobre los demás que

hemos relatado, dejando para su lugar oportuno el estudio detallado de todas estas maravillas.

Vemos, pues, que los accidentes que podemos observar en la Luna no son demasiado numerosos; cráteres y sus conos centrales; cordilleras de montañas, con alguno que otro pico aislado; llanuras de superficie más ó menos irregular y radiaciones brillantes. Pero cuando llegemos á estudiar en particular cada una de estas clases de accidentes, con amplificaciones poderosas, hallaremos que la sencillez desaparece, que aumentan los detalles y particularidades y que en todo hay misterios que explorar; y buena prueba de ello son los cráteres, á pesar de que todos presentan, puede decirse, el mismo orden de estructura, esto es, la forma circular; una amplificación poderosa nos demuestra, no sólo la existencia de cráteres de todas magnitudes, algunos extremadamente pequeños, sino también que su estructura y disposición ofrecen grandes puntos de semejanza. Unos parecen elevados considerablemente sobre la superficie en que se apoyan, otros se presentan como abismos y excavaciones profundísimas, rodeados de montes y murallas de poca altura; éstos se ven como valles planos, aquéllos como circos ó anfiteatros gigantescos, mientras que la mayoría ofrece su centro más profundo á un nivel inferior al de la superficie general; ciertos picos se hallan aislados en las llanuras, reuniéndose en ocasiones con tal confusión, que es imposible distinguir y separar los límites de cada uno; hay cráteres que tienen en su centro un monte ó un cráter más pequeño, al paso que otros carecen de este cono, presentando el de más allá, no sólo un cono, sino muchos cráteres secundarios. Las murallas y baluartes son perfectos y bien formados en unos, y en otros presentan brechas y derrumbaderos como si hubiesen sido batidos por la artillería y sus fragmentos hubieran rellenado los fosos inmediatos, principalmente hacia la parte interior.

En las llanuras, lo que con una amplificación inferior parece una superficie lisa y suave como la del mar, se convierte, con medios ópticos poderosos, en un terreno ondulado, lleno de ranuras semejantes á nuestros caminos carreteros, y cruzado por líneas curvas con infinitas ramificaciones, que pudiéramos comparar á los lechos de los ríos de nuestro planeta; cráteres de todas clases y tamaños se encuentran asimismo esparcidos por los mares; éstos presentan, por lo general, un tono ó color distinto que la superficie cercana que los rodea, pues la luz reflejada por las llanuras ofrece cierto tinte que ha sido estudiado con gran detenimiento, notándose que el de algunos mares es verde muy pálido, el de otros gris y el de otros ligeramente rojizo; la causa que produce esta diversidad de colores nos es desconocida, y se ha supuesto que pudiera indicar la existencia de cierta clase particular de vegetación, afirmación que, como veremos más adelante, es por completo gratuita; más natural es creer que el color propio del terreno produzca estos aspectos, pues en la Tierra vemos grandes extensiones superficiales, blancas, amarillas, rojas y negruzcas.

Las montañas, aun observadas con poderosos instrumentos, no presentan tanta diversidad en su configuración como los cráteres, ó al menos las diferencias no son tan sensibles; pero en cambio se unen y combinan del modo más caprichoso. Hay algunas, pocas, perfectamente aisladas, que proyectan largas sombras en las llanuras que las sustentan, del mismo modo que las torres elevadas

de nuestras catedrales á la salida y postura del Sol. Algunas veces se encuentran reunidas en grupos; mas, por lo general, forman dilatadas cordilleras; se calcula que en una de estas grandes sierras pueden verse, con un buen telescopio, sobre 3.000 montañas agrupadas sin orden ni simetría; el panorama que debe verse desde esas cadenas inmensas ha de ser más sublime é imponente que el que nos ofrecen los Alpes ó el Himalaya; pues, por una parte, los montes lunares son más altos y más descarnados que los terrestres, y por otra, la falta de atmósfera, y por consecuencia los efectos ópticos que produce, dará origen á unos cambios bruscos y repentinos de luz y sombra, imprimiendo á la escena un carácter salvaje, del que no podemos aquí en la Tierra formarnos una idea siquiera aproximada; como nosotros contemplamos la Luna á plomo, nos es muy difícil apreciar en toda su magnificencia estos fenómenos, ni la prodigiosa elevación de sus montañas, pues nos sucede como á los que quisieran observar los edificios de una ciudad desde la barquilla de un globo, que sólo distinguirían los techos de las casas y las cúspides de las torres.

Un aumento poderoso, de poco nos sirve para el estudio de las radiaciones luminosas que parten de los cráteres principales; pero nos permite, sin embargo, reconocer que apenas presentan elevación alguna sobre las llanuras que atraviesan, y que sus contornos no están perfectamente definidos; es uno de sus caracteres más notables que cuando el Sol las ilumina perpendicularmente, su brillo aumenta en una proporción extraordinaria; así es que se observan mucho mejor durante el plenilunio, y son invisibles cuando se encuentran en las regiones que el Sol ilumina con gran oblicuidad, á su orto y á su ocaso; se ve también que en nada modifican su dirección los accidentes lunares, pues atraviesan en su camino cráteres, montañas, picos y llanuras, sin producir otro efecto que el de aumentar el brillo anterior de estos objetos. Para emplear una comparación vulgar y sencilla, diremos que parece como si después de adquirir la Luna su configuración definitiva y su aspecto general, tal y como ahora se presenta á nuestros ojos, se hubiera pasado un inmenso pincel con una disolución de plata sobre la superficie entera del globo lunar, en líneas rectas que partiesen de un punto central, dejando impresa una huella sobre todo cuanto la brocha había tocado, pero sin dar relieve ni sombra á ningún accidente topográfico.

Sea cual fuere la causa que produce el extraordinario brillo de ciertas partes de la Luna, y sin referencia á la configuración de su superficie, es indudable que no se contrae á la formación de las radiaciones luminosas, pues se observan muchas manchas aisladas, y otros accidentes, dotados también de un brillo extraordinario. En algunas de las llanuras hay pequeñas extensiones y líneas de materia luminosa que poseen caracteres semejantes á los de las radiaciones, en lo relativo á su visibilidad, cuando el Sol se encuentra á mucha elevación y las ilumina casi verticalmente; pero también se hacen invisibles cuando los rayos del luminar del día hieren la superficie del astro en dirección horizontal. Algunos cráteres se encuentran rodeados por una especie de aureola de esta materia, que en tan alto grado posee la propiedad de reflejar la luz; un ejemplo notable es el cráter de Linneo, sobre el cual hubo hace poco tiempo una gran discusión, pues algunos astrónomos creyeron observar en su configuración ciertos cambios que atribuían á la acción volcánica de la Luna; Linneo es un cráter pe-

queño, de escasa importancia y de unos dos kilómetros de diámetro, situado en medio de una mancha mal dibujada, del mismo carácter circular y de unas tres leguas de anchura. A la salida del Sol, sólo se distingue la sombra del cráter; pero á medida que el astro del día va subiendo, se acorta la sombra, llegando á desaparecer por completo, aumentando en proporción la blancura y brillo del monte, hasta este momento invisible; estas alternativas, unidas á las variaciones del estado atmosférico y á las interpretaciones exageradas de algunos observadores, han dado origen á ciertas teorías relacionadas con las fuerzas volcánicas que residen en el centro de nuestro satélite, y á las que se atribuyen los supuestos cambios y transformaciones de determinadas regiones del disco lunar.

En las páginas que anteceden hemos dicho algo sobre la condición y poder amplificador de los telescopios que pueden emplearse para observar la Luna, y ahora daremos algunos detalles más sobre este punto, antes de pasar á describir los misterios y fenómenos que revelan los instrumentos gigantescos de los observatorios.

Podemos suponer que el radio de la Tierra que mide 1,740 leguas, visto desde la Luna, subtiende un ángulo de 1° ó sean $60'$ ó $3.600''$; de aquí se deduce que en la superficie de la Luna un arco

| | | | |
|-------------|------|-------------|----------------|
| de $2'',2$ | vale | 1 legua | ó 4.000 metros |
| de $1'',1$ | » | media legua | ó 2.000 » |
| de $0'',1$ | » | | 200 » |
| de $0'',01$ | » | | 20 » |

La experiencia demuestra, por otra parte, que el límite de la visión de un objeto es por lo general de $60''$, ó de otro modo, que un cuerpo que subtienda un ángulo menor que $1'$ es por completo invisible á la simple vista; ahora bien, $1''$ se convertirá en $60''$ si se emplea un aumento de 60 veces, con el cual se podrá ver un cuadrado de 2.000 metros de lado, ó un círculo de 2.000 metros de diámetro; un aumento de 600 hará ver objetos diez veces más pequeños que los que se percibían con el aumento anterior, por manera que podremos distinguir espacios superficiales de 200 metros de lado ó de diámetro. Una amplificación de 6.000 veces nos permitiría distinguir objetos redondos ó cuadrados de 20 metros de lado; un objeto prolongado se ve, cuando subtiende lateralmente un ángulo de $6''$ ó de 1 décimo de minuto; por lo tanto, un cuerpo de 2 metros de ancho podría verse con una amplificación de 6.000 veces, si fuera de gran longitud, como una muralla, un desmonte de ferrocarril, un camino carretero, etc.

Examinemos el asunto desde otro punto de vista.

La distancia media de la Luna á la Tierra es de 96.000 leguas; sirviéndonos de un aumento de 1.000 veces, parecerá que la Luna se coloca á 96 leguas y se observa á la simple vista. Con un aumento de 2.000 se ve la Luna á 48 leguas; con uno de 4.000 á 24 leguas y con uno de 6.000 á 16 leguas.

Desde Lyon se distingue perfectamente, á la simple vista, el Monte Blanco, que se encuentra á 40 leguas de distancia; valiéndose de un aumento de 2.500 veces, veríamos los montes de la Luna, del mismo modo que se percibe el Monte Blanco desde Lyon.

En vista de estos cálculos, parece que hay motivo para preguntar por qué no

se aplican á la observación de la Luna estos aumentos considerables que acabamos de señalar; la respuesta es obvia. En primer lugar, la luz de la Luna no tiene intensidad suficiente para soportar la debilitación que resulta al emplear estas enormes amplificaciones; además, únicamente cuando se llegue á construir espejos de telescopios y objetivos que reunan en su foco una gran cantidad de luz, podrán obtenerse los resultados enunciados, y deducidos de cálculos exactos, en sus fundamentos. En el estado actual de las cosas nos vemos obligados, para examinar la Luna, á emplear amplificaciones moderadas; pues cuando se esfuerzan los aumentos, se pierde más por la debilitación de la luz, de lo que se gana por la ampliación de los ángulos que presentan los objetos.

No debemos olvidar tampoco en cuán diversas circunstancias se efectúan las observaciones astronómicas, siendo necesario en cada caso particular hacer uso de distintos instrumentos y amplificaciones; y cuando se trata de analizar un objeto muy delicado, puede decirse que es imposible señalar ni el telescopio ni el ocular que debe emplearse; tal instrumento, de tamaño proporcionado y de excelentes condiciones ópticas, puede sernos de menos utilidad que otro al parecer inferior, y ésto debido sólo al estado variable de nuestra atmósfera; las dos terceras partes de las noches del año son inútiles para hacer uso de toda la ampliación y abertura aun de los mejores telescopios, pues las capas atmosféricas, desigualmente caldeadas, producen un movimiento ondulatorio, imperceptible á la simple vista, pero que amplificado tantas veces como aumente el anteojo, turba y confunde la perfección de las imágenes, sobre todo los detalles delicados de la superficie de la Luna. Y aun suponiendo un anteojo perfecto y unas condiciones atmosféricas inmejorables, tenemos que considerar también la potencia visual del observador; pues, después de todo, el ojo es el que ve, y el mejor telescopio del mundo es de muy escaso valor en unas manos sin experiencia; la vista es susceptible de educación y desarrollo, lo mismo que cualquiera otro órgano del cuerpo, y así como un músico al oír el tañido de una campana ó la vibración de un objeto de cristal, reconoce en el acto la nota musical correspondiente, del mismo modo un observador hábil es, respecto de un individuo que carezca de práctica de observar, lo que un relojero comparado con un cavador ó un miniaturista en parangón con un pintor de brocha; nadie se cree capaz de coger en la mano por primera vez un buril, y convertirse *ipso facto* en un grabador consumado, ni de forjar una herradura sin haber hecho un aprendizaje más ó menos penoso, y sin embargo, cualquiera que entra en un observatorio pretende, sin tener su vista educada, distinguir con los instrumentos lo que éstos enseñan indudablemente, pero sólo á los que llevan una larga práctica y *saben mirar* con estos aparatos gigantescos. Un ojo educado distingue infinitas maravillas con una pequeña ampliación, y en general, los observadores prácticos emplean, siempre que es posible, un poder muy bajo, con objeto de neutralizar, en cuanto quepa, los perjudiciales efectos de la atmósfera agitada; con un aumento tan sólo de 30 ó 40 veces puede un observador, familiarizado con el aspecto de nuestro satélite, distinguir infinitos detalles que serían invisibles para un principiante; con un aumento de 200 y en buenas condiciones atmosféricas, podemos decir que se perciben los principales objetos delicados de la Luna; con un ocular que aumente 300 veces y con un cielo despejado, es posible observar hasta los menores accidentes lu-

nares; en definitiva, podemos decir que los aumentos más convenientes son los de 250 y 350, según el estado de la atmósfera, y son muy raras las ocasiones en que puede hacerse uso de amplificaciones más poderosas.

Las extensas llanuras de color oscuro que se perciben en el plateado disco de la Luna, recibieron de los primeros astrónomos que se ocuparon de levantar un mapa selenográfico el nombre de mares; posteriormente y con auxilio de los poderosos instrumentos que hoy se construyen, se ha reconocido que estas regiones grises contienen algunos cráteres pequeños, análogos á los que se ven en casi todas las demás partes de la superficie de la Luna, negándose, por lo tanto, la exactitud del nombre de mares, aplicado por los antiguos observadores. Esta circunstancia, sin embargo, no es por completo demostrativa, puesto que los cráteres pudieran apoyarse en el fondo de estas inmensas cavidades, llenas de agua tan transparente, que no se ocultara á nuestra vista el menor detalle; esta fué al menos la opinión de algunos astrónomos. Arago demostró, por medio de observaciones polariscópicas, que la superficie de los mares es su mismo fondo, y que la luz que reflejan no pasa á través de ningún medio óptico de diferente densidad; por otra parte, si estuviese probado matemáticamente que la Luna carece de atmósfera, se deduciría con todo rigor de este hecho la consecuencia de que no existirían capas de agua, pues este líquido se evaporaría en el vacío, rodeando el cuerpo de una atmósfera de vapores.

De este asunto es del que vamos á ocuparnos ahora.

La existencia de la atmósfera lunar ha sido motivo de grandes discusiones y controversias, que aún no han cesado por completo, siendo considerable el número de pruebas suministradas por los partidarios de una y otra teoría, esto es, por los que sostienen y por los que niegan que nuestro satélite esté dotado de una envoltura gaseosa semejante á la del globo que habitamos.

Familiarizados como estamos con los fenómenos de la atmósfera terrestre y con sus efectos, el mejor método que podemos seguir es averiguar, hasta donde nos sea posible, si en la Luna se manifiestan algunos fenómenos análogos á los que nos ofrece nuestra atmósfera; las nubes, por ejemplo, que se forman y flotan en nuestro Océano aéreo, se presentarán á un habitante de la Luna como manchas brillantes y oscuras que en ocasiones velarán, ú ocultarán por completo, algunos de los detalles permanentes de la superficie del globo, dividiéndolo en dos porciones por una faja ecuatorial, semejante á las bandas que se distinguen en el planeta Júpiter, ó modificando su aspecto general con menos regularidad, como ocurre con Marte. Si en la Luna hubiera nubes de esta clase, es indudable que de cuando en cuando veríamos obscurecerse los detalles de su suelo; pero nunca se ha observado este fenómeno, aunque se haya hecho uso de grandes y poderosos instrumentos; nuestro satélite se presenta siempre completo, y si el estado de nuestra atmósfera lo permite, se distinguen con toda claridad los menores y más delicados detalles de su superficie.

Verdad es que, en determinadas ocasiones, se observan los contornos y aristas de los montes lunares con cierta confusión; pero esto depende del estado de nuestra atmósfera, más ó menos transparente y más ó menos homogénea, pues aquí debemos repetir que las noches puras y claras, en sentido astronómico, son mucho más escasas de lo que á primera vista pudiera creerse; de las rescientas

sesenta y cinco noches del año, quizás no pasan de doce las que pueden calificarse de buenas y á propósito para observaciones delicadas con instrumentos poderosos. A menudo, noches que en la apariencia parecen despejadísimas y en las que la luz de las estrellas brilla con gran intensidad, son muy malas para observaciones de precisión; tan sólo con que haya dos ó tres capas de aire de distinta densidad ó temperatura, ó en movimiento rápido, se producen imágenes confusas, pues el rayo luminoso que parte del objeto celeste sufre varias desviaciones al atravesar estos estratos aéreos, y se pierde por completo la finura de los detalles, confundiéndose entre sí los perfiles y líneas finas, y siendo sólo visibles los caracteres generales. Por esta causa, algunas veces se ha notado cierta confusión en tal ó cual detalle ó perfil lunar, que se ha tratado de atribuir á la presencia de nieblas ó vapores de la superficie de la Luna, cuando la causa real y efectiva dependía de las malas condiciones atmosféricas de nuestra Tierra; puede afirmarse con toda seguridad que, cuando se tienen en cuenta ó se eliminan las causas perturbadoras terrestres, no se ven en la Luna modificaciones de ninguna clase que pudieran ser atribuídas á la presencia de neblinas ó de nubes.

Dicen algunos que esta prueba no es concluyente, y que la atmósfera podría no ser, ni tan densa como para ocultar las manchas de un modo sensible, ni tan rica en vapor de agua que en condiciones convenientes se transformase en nubes ó nieblas; la existencia probable de una atmósfera de esta clase se ha deducido de un fenómeno que se observa durante los eclipses totales de Sol; en estos casos se ha visto el cuerpo negro de la Luna rodeado invariablemente por una aureola luminosa ó gloria, á que se ha dado el nombre de *corona*, y que debería su origen á la luz del Sol que la atravesase, presentando un fenómeno análogo al que se observa en una habitación oscura cuando por alguna rendija penetra un rayo de Sol y hace visibles las partículas y cuerpecillos que flotan en el aire; los progresos de la ciencia no permiten hoy sostener esta hipótesis, pues el análisis espectral ha revelado que la constitución de la corona es muy distinta de la de nuestra atmósfera, por más que no se sepa todavía en qué consiste verdaderamente.

Algunos espíritus sistemáticos han pretendido que durante los quince días consecutivos en que el Sol ejerce su acción sobre el hemisferio de la Luna visible desde la Tierra, pasaba en totalidad la atmósfera de este hemisferio al opuesto, dando origen á fenómenos análogos á los que se verifican en nuestro globo; pero á esto se puede responder que semejante fenómeno debería reproducirse en los quince días durante los cuales el hemisferio invisible se encuentra iluminado, y la atmósfera de este segundo hemisferio debería á su vez transferirse al hemisferio que distinguimos de la Tierra; y la facilidad con que observamos todos los detalles de la Luna con auxilio de la luz cenicienta, hace ver que esta teoría es inadmisibles.

Las ocultaciones de estrellas son, sin duda alguna, el mejor medio de que podemos valernos para juzgar con acierto en este asunto.

En su curso elíptico por los cielos, pasa la Luna constantemente por delante de algunas estrellas, ocultándolas por completo á nuestra vista, tan sólo por interponerse nuestro satélite entre la Tierra y estos remotísimos soles; y cuando vemos que una estrella desaparece detrás del disco lunar por uno de los bordes

y reaparece por el borde opuesto, lo que virtualmente observamos es el ocaso y el orto del astro en la Luna; si nuestro satélite estuviera dotado de atmósfera, es evidente que la estrella desaparecería más tarde y reaparecería más pronto que si no existiese semejante envoltura gaseosa. El diámetro aparente de la Luna se ha medido en muchas ocasiones, y se conoce su valor angular con gran exactitud; su movimiento á través de las constelaciones se conoce también de un modo muy aproximado á la verdad; luego es fácil calcular cuánto tiempo debe emplear la Luna en recorrer un espacio del cielo de igual longitud que su propio diámetro. Supongamos, para fijar las ideas, que una estrella se oculte por un punto del contorno de la Luna, situado precisamente en la extremidad de un diámetro que pase por el punto de inmersión; si los rayos luminosos se propagan en línea recta rasando el borde de la Luna, la duración de la desaparición de la estrella deberá ser igual al tiempo que emplee la Luna en recorrer en el cielo un espacio igual á su diámetro, tiempo que es fácil de determinar con gran exactitud, sin hacer suposición alguna relativamente á la cuestión que se trata de resolver; por manera que no se puede decir que giremos en un círculo vicioso. Supongamos ahora que los rayos que parten de la estrella hacia la Tierra hayan pasado, atravesándola, por la atmósfera de la Luna, la cual estaría dotada de una densidad que disminuiría gradualmente con la altura, del mismo modo que se observa en la atmósfera terrestre; al atravesar la envoltura gaseosa de la Luna, describen los rayos estelares una curva, cuya concavidad se dirige hacia la superficie del astro. La inflexión hará, pues, que la estrella aparezca, después de su ocultación, es decir, cuando está ya detrás del cuerpo oscuro de la Luna, tangente al limbo, del mismo modo que vemos el Sol, en virtud del propio fenómeno, cuando en realidad ha desaparecido bajo el horizonte. En el momento de la emersión ó reaparición se distinguiría la estrella, y por la misma causa, antes de que hubiese llegado al plano tangente al borde de la Luna, en el punto de su aparición.

Las refracciones que sufre la estrella, así á su inmersión como á su emersión, deberían acortar el período de tiempo que permaneciese eclipsada; y sin embargo, se ha comparado muchas veces ese período al de la desaparición calculada, en el supuesto de que la luz no haya experimentado refracción de ninguna especie y los dos resultados, el del cálculo y el de la observación, se ha visto siempre que se hallaban en perfectísimo acuerdo.

Este método no tiene más que un inconveniente: el de suponer que conocemos con gran exactitud el diámetro angular de la Luna, lo cual no es verdad.

No debemos olvidar que los partidarios de la existencia de la atmósfera de la Luna sostienen que aquélla se hallaba confinada en las cavidades; en esta hipótesis, la igualdad de las duraciones calculadas y observadas de las ocultaciones de estrellas no probaría nada absolutamente en contra de la existencia de una atmósfera que pudiéramos llamar subterránea. Se dice también que la atmósfera lunar, que antes tenía límites muy extensos y apreciables, se ha precipitado por completo en las innumerables simas que cubren la superficie de nuestro satélite, producidas por la acción enérgica de las fuerzas volcánicas.

Si la Luna carece de aire, hemos de admitir forzosamente que tampoco tiene agua, pues la menor cantidad de este líquido que rellenase algunas de las

innumerables cavernas lunares, se evaporaría por la acción continua y constante de los rayos solares, en un período de 300 y tantas horas seguidas, que es la duración del día de la Luna, produciendo nubes ó neblinas que obscureciesen una parte de la superficie. Pero, como ya hemos dicho, en nada se turba la transparencia y pureza de los paisajes lunares, según resulta de un número considerable de observaciones, y podemos colegir, por lo tanto, que donde no hay manifestaciones del vapor de agua, no puede existir tampoco la causa que debiera producirlo.

Las regiones de la Luna que los antiguos consideraron mares, por su aparente tersura y obscuridad, hemos visto que, gracias á las observaciones modernas, mucho más perfectas, han resultado ser llanuras extensas, dotadas únicamente de menor poder reflector, pues el telescopio nos revela las asperezas que á veces las cubren casi en totalidad, asperezas que no podrían verse si se hallaran cubiertas de agua, á menos que admitiéramos la posibilidad de ver, como se

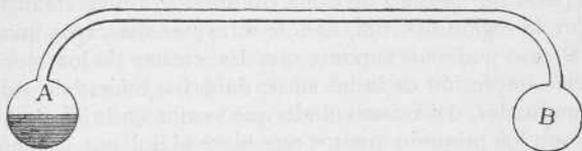


Fig. 137. — Crióforo de Wollaston

dijo antes, el fondo de estos mares, no sólo perpendicular, sino también oblicuamente. Algunos observadores han percibido ciertas apariencias en la configuración topográfica de la Luna, bastante características para hacerles sospechar que, en alguna época remotísima de nuestro satélite, pudo haber agua en su superficie, apoyando su juicio en el efecto de denudación que se advierte en las orillas de algunos mares, ó manchas opacas, y en la estructura de determinados cráteres. Pero á esta afirmación puede objetarse: ¿y dónde se encuentra esa agua ahora? ¿En qué se ha transformado? ¿Adónde ha ido á parar?

El famoso Herschel indicó que si en la Luna existía alguna humedad, aunque pequeña, debería encontrarse en constante emigración del lado cálido ó iluminado del globo lunar al frío ú obscuro; las alternativas de la temperatura producidas por el calor desarrollado en 14 días de insolación constante de una parte, y de otra la intensidad del frío que resulta de la ausencia total de rayos solares en un período idéntico, deben desarrollar una acción semejante á la del crióforo, transportando la humedad lunar del uno al otro hemisferio. El crióforo es un pequeño instrumento inventado por Wollaston, que consiste en dos esferitas de cristal unidas por un tubo encorvado, de cristal también, del modo que indica la figura 137. Una de las esferas ó depósitos, A, se llena hasta la mitad de agua, la cual se hace hervir colocando el aparato al fuego, y sus vapores arrastran el aire, en cuyo estado se cierra la otra bola herméticamente en la lámpara de esmalter, quedando dentro del instrumento tan sólo agua y vapor de este mismo fluido, que se desprende con gran libertad por la falta de la presión atmosférica.

Cuando la bola vacía, B, se coloca dentro de una mezcla frigorífica, se veri-

fica una condensación rapidísima del vapor de agua existente, y como consecuencia, hay un desprendimiento considerable, de vapor también, en la bola A. La substracción de calor del fluido, consecuencia natural de la evaporación, produce un descenso tan grande en la temperatura del agua, que llega ésta á congelarse, formándose una masa compacta de hielo; ahora bien, el mismo fenómeno ocurriría en la Luna, dado caso de que en su superficie hubiera los elementos necesarios para su producción. Supongamos que en la figura 138, A represente el hemisferio de la Luna iluminado ó que recibe todo el calor del Sol, y B el hemisferio opuesto ó sea el frío y obscuro; la temperatura del primero ha de ser probablemente de unos 150 grados sobre cero, y la del segundo de 90 grados bajo cero de la escala centígrada. Según el principio anterior, si existe alguna humedad en el hemisferio A, debe evaporarse, transfiriéndose el vapor al hemisferio B, depositándose en éste como escarcha; lo cual se manifestaría á nuestra vista por la obscuridad que las masas de nubes debieran producir en su viaje circulatorio al pasar por la línea divisoria ó límite de ambos hemisferios; al asomar el Sol sobre la región oscura, han de atravesar sus rayos una capa de humedad, en cual caso podemos suponer que las crestas de los montes que recibirían la primera impresión de la luz solar, deberían teñirse de rojo ó aparecer ligeramente iluminadas, del mismo modo que vemos en la Tierra que la cúspide de los montes son los primeros puntos que hiera el Sol por la mañana y los últimos que abandona por la tarde; nada de esto, sin embargo, se percibe en la Luna; cuando los rayos solares alcanzan los enhiestos y descarnados picos de las sierras de nuestro satélite, brillan con luz resplandeciente, de una vez y con tanta intensidad como las regiones iluminadas horizontalmente ó aquellas otras sobre las cuales cae el Sol á plomo.

Todos los medios de investigación de que podemos valernos parecen demostrar que en la superficie de la Luna no hay ni aire ni agua: al discutir y elaborar nuestras hipótesis sobre el aspecto físico de la superficie de nuestro satélite, debemos contar siempre con la falta de estos dos elementos tan importantes, en todos los asuntos referentes á la geología del globo que habitamos. A la acción del fuego de una parte, y de otra á la del agua, se debe la configuración de la superficie terrestre; el primero de estos agentes produjo las rocas ígneas que forman, por decirlo así, los verdaderos cimientos de la Tierra; el segundo ha dado origen á la estructura superior de los depósitos que constituyen las formaciones secundaria y terciaria; si fuese posible separar de la Tierra estas dos últimas formaciones, de modo que apareciesen en toda su superficie tan sólo las rocas ígneas ó primitivas de la costra original, el aspecto de nuestro globo sería muy parecido al que nos ofrece la Luna, esto es, al aspecto del hemisferio visible, que es el único de que podemos hablar. Al estudiar las causas que pueden haber dado origen al accidentado aspecto del suelo lunar, podemos, por lo tanto, apartar el influjo del aire y el del agua, y concretarnos únicamente á los fenómenos ígneos, lo cual simplifica extraordinariamente nuestra tarea.

No hay que profundizar mucho para comprender las razones que tuvieron los astrónomos, poco después del invento del anteojo, para pretender representar de un modo permanente las manchas y montes de la Luna, ó lo que pudiéramos decir sus *facciones*; hubo de parecer en extremo necesario marcar las po-

siciones de las manchas en el disco, con el objeto de facilitar las observaciones de los pasos de la sombra terrestre durante los eclipses de Luna; y más importante todavía se debió considerar la representación de las manchas claras y oscuras, con idea de averiguar si con el tiempo se verificaban algunos cambios y modificaciones en la apariencia de nuestro satélite.

Galileo y Scheiner, estos dos rivales, fueron los primeros astrónomos que levantaron independientemente cartas ó planos de la Luna; pero de tal imperfección, que para nosotros sólo son objetos de curiosidad; verdad es que debemos tener en cuenta lo limitado de los medios ópticos de que podían disponer ambos astrónomos, quienes verificaron su trabajo á mediados del siglo XVII. Los mejores mapas antiguos se deben á Mellán, que los grabó en 1634 ó 1635, sin que por esto pretendamos decir que fuesen buenos, pero presentan muchas menos incorrecciones que los del jesuita de Ingolstadt; sus cartas se encuentran en algunas bibliotecas del Sur de Francia. Hacia la misma época, Langreno, de Amberes, y Hevelio, de Dantzic, principiaron á ocuparse de este trabajo, y al astrónomo flamenco se deben unas treinta cartas de varias regiones de la Luna, en las que se designan las manchas y cráteres con los nombres de filósofos y astrónomos eminentes, práctica seguida hasta nuestros días. A Hevelio se debe, sin embargo, la primera carta completa de la Luna, en cual trabajo invirtió muchos años, publicando el resultado en un grueso volumen que contenía cincuenta mapas de diversas fases de la Luna, acompañados por 500 páginas de texto; tanto celo puso Hevelio en su *Selenografía* (del nombre griego *Selena*, Luna), que él mismo grabó la plancha de cobre destinada á reproducir sus dibujos.

Hevelio siguió el método de Galileo para determinar la altura de las montañas lunares, y dedujo como máximo de altura tan sólo una legua. Al astrónomo de Dantzic debemos también el descubrimiento de la más importante de las libraciones lunares; Galileo descubrió la libración en latitud, é indicó algo acerca de la libración diurna; Hevelio observó que las manchas próximas, tanto al borde oriental cuanto al occidental del disco de la Luna, no se hallaban siempre á igual distancia del limbo inmediato, de cuyo hecho dedujo la libración en longitud, demostrando asimismo que depende de la variabilidad del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra y de la uniformidad y constancia de su movimiento de rotación.

Domingo Cassini construyó una carta de la Luna, fundada en sus propias observaciones, de 12 pies de diámetro, en la que faltan, sin embargo, muchísimos detalles; á pesar de esta omisión, puede decirse que el método que empleó para ejecutarla fué mucho más exacto que el de sus predecesores; determinó la situación de las principales manchas lunares por mediciones delicadas y bastante aproximadas á la verdad, y la de los puntos de menos importancia tan sólo á ojo y por tanteo, pero aplicando las correcciones necesarias para eliminar los errores de libración. Esta carta se publicó en 1692, y tan grande era la confianza

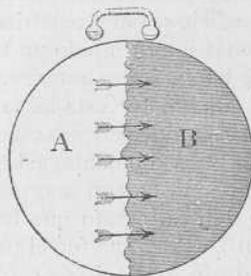


Fig. 138. — Transporte de los vapores acuosos de la Luna del hemisferio cálido al frío.

que inspiraba, que se hicieron reducciones de ella para insertarlas en el *Almanaque náutico francés* y en el *Tratado de Astronomía* de Lalande. Dice Arago que la plancha de cobre de la gran carta de Cassini se conservaba en las oficinas de la Imprenta real, pero que se vendió á un calderero por el director del establecimiento, so pretexto de que estorbaba en los almacenes, que debían dedicarse á guardar otras cosas.

El primer mapa selenográfico digno en verdad de este nombre, fué construído por Tobías Mayer; en 1748, durante un eclipse de Luna, observó Mayer el paso de la sombra terrestre sobre los principales puntos de la superficie de nuestro satélite, y notó cuán importante sería tener una carta exacta de la Luna; según refiere Lichtenberg, se propuso Mayer levantar una gran carta de la Luna, en la que se determinase la situación de los principales cráteres y accidentes por mediciones micrométricas: la muerte lo sorprendió en 1762, quedando por esta causa interrumpido un trabajo que superaba en exactitud y delicadeza á cuanto se había hecho anteriormente en este asunto.

Schroeter estudió la Luna con mucha escrupulosidad y paciencia; era un observador perspicaz, pero sus dibujos demuestran que no se le puede llamar un buen dibujante; así que los trabajos del astrónomo de Lilienthal, como selenografista, son muy medianos.

El cartógrafo que hallamos después de Schroeter es Lohrman, agrimensor en Dresde, que fué el primero que trató de levantar un plano de la Luna con arreglo á principios verdaderamente científicos, y durante largo tiempo será su carta de la Luna una de las más exactas y concienzudas de que puedan servirse los astrónomos.

Tenemos que hablar ahora de la gran carta clásica, por decirlo así, de Beer y Maedler; estos astrónomos dieron principio á su trabajo selenográfico en 1830, valiéndose para sus observaciones de un antejo acromático de 10 centímetros de abertura. Por más que en su carta, que mide casi un metro de diámetro, no aparecen todos los accidentes que es posible distinguir con un telescopio de estas dimensiones; sin embargo, el número de detalles representados es muy considerable, y el inmenso trabajo que supone es difícil que pueda apreciarse por las personas ajenas á esta clase de catastro.

Beer y Maedler, en la obra que acompaña al mapa, dan también la situación de 919 manchas lunares y la altura de 1.095 montes y cúspides de cráteres: la elevación de estas montañas se determinó por uno de los dos métodos siguientes, ó bien midiendo la longitud de la sombra arrojada por el objeto, bajo una altura conocida del Sol sobre el horizonte, ó en otro caso, averiguando la distancia angular entre la cúspide iluminada de la montaña y el círculo terminador de la luz y la sombra; en la figura 139 representa el círculo el disco de la Luna y M una montaña; sea S A la dirección lineal de los rayos solares que pasan tangentes á la superficie de la Luna en A y tocan precisamente en el vértice del monte; A es el límite ó círculo terminador de la parte iluminada, y la obscuridad más profunda debe reinar en el espacio comprendido entre este punto y la parte brillante M. La distancia que media entre estos dos puntos se averigua sencillísimamente con el micrómetro, tan sólo con aguardar que se presenten ambos puntos iluminados en el plenilunio. La distancia A B se conoce también,

pues es el radio de la Luna, y puesto que la línea $S M$ es tangente al círculo, el ángulo $B A M$ es un ángulo recto; conocemos la longitud de sus dos lados $A B$ y $A M$ y podemos, por lo tanto, valiéndonos de una construcción gráfica, como queda explicado en las páginas anteriores, hallar la longitud de la hipotenusa $B M$; y como $B M$ comprende el radio lunar, más la altura de la montaña, sólo tendremos, para averiguar este valor, que restarle el radio de la Luna.

Las mediciones de Beer y Maedler están expresadas en toesas francesas, pero nosotros las hemos reducido al sistema métrico decimal, único empleado en el curso de esta obra, suponiendo que una toesa es igual á $1^m,949$. La nomenclatura seguida por estos astrónomos es la iniciada por Riccioli; de modo que á los cráteres y accidentes descubiertos con posterioridad, les han dado

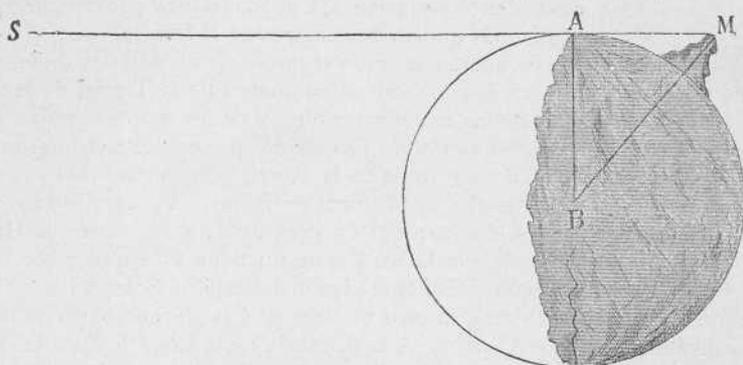


Fig. 139. — Método para medir la altura de los montes lunares

nombres de filósofos antiguos y modernos, y en ocasiones también han hecho uso de algunos nombres geográficos.

La excelente carta con que han dotado á la astronomía estos laboriosos observadores, es sencillamente un mapa, y de ningún modo un cuadro ó pintura; así que las asperezas y depresiones del suelo lunar se representan por medio de símbolos convencionales y no como aparecen á través de un telescopio, por manera que no es fácil reconocer los caracteres y detalles de la Luna con el auxilio de la carta, á menos de estar familiarizado con ella, ó de que el aspecto del objeto que se examine sea muy notable y peculiar. Este inconveniente se ha evitado, en lo posible, en la carta general de la Luna que acompañamos, dibujada por E. Guillemin, que la redujo en la proporción debida, conservando toda la fidelidad del original, pero acentuando los contornos y sombras de los accidentes con cierta exageración y tal como aparecen en distintas fases de la Luna.

No obstante las alturas considerables que alcanzan gran número de montes lunares, son inferiores siempre á las de determinados montes terrestres. La cima más elevada de la Tierra, la del monte Everest, en el Himalaya, mide 8.840 metros, al paso que las cimas más considerables de la Luna, como los montes Doerfel y Leibnitz, no pasan de 7.603 metros. Estos números, sin embargo, no son comparables entre sí, puesto que en la Tierra representan eleva-

ciones sobre el nivel medio de las aguas del Océano, mientras que en la Luna indican tan sólo las diferencias de altura entre las cúspides y las depresiones próximas; de todos modos, á causa de la pequeñez relativa de la Luna, son muy considerables las alturas de sus montañas; la altura de la cima más elevada de la Luna es, respecto de su diámetro, como 1 es á 454, mientras que en la Tierra las mismas proporciones nos dan sólo la relación de 1 á 1.481.

Sabemos que uno de los caracteres peculiares de las montañas lunares es el de presentar unas circunvalaciones inmensas, cuyo centro está algunas veces ocupado por domos y conos aislados. No todas son circulares, y entre las más notables merece citarse la de Descartes, que presenta 59.264 metros de largo y sólo 3.704 de ancho. Los montes anulares de la Luna no tienen dimensiones tan considerables como las circunvalaciones; Conón, en los Apeninos, uno de los más importantes, no tiene más que 14.800 metros de diámetro.

Dice Humboldt que comparando desde el punto de vista de las dimensiones los fenómenos de la Luna y los conocidos fenómenos de la Tierra, es necesario notar que la mayor parte de las circunvalaciones y de los montes anulares de la Luna deben considerarse como cráteres producidos por erupciones intermitentes análogas á las que pudieran tener lugar en la Tierra, pero mucho más vastos que los nuestros. Los cráteres de Rocca Moffina, de Palma, de Tenerife y de Santorín, que llamamos grandes, desaparecen en presencia de Ptolemeo, de Hiparco y de otros muchos cráteres de la Luna. Palma no tiene más que 7.400 metros de diámetro; Santorín, según la nueva medición del capitán Graves, tiene 10.200, y Tenerife 14.800 todo lo más, lo cual no llega ni á la décima parte de los diámetros de Ptolemeo ó de Hiparco. A la distancia de la Luna, los pequeños cráteres del pico de Tenerife y del Vesubio, que miden de 150 á 200 metros de diámetro, apenas serían visibles con el telescopio. La inmensa mayoría de los circos de la Luna carecen de monte central, y los que presentan esta particularidad, como Hevelio y Macrobio, entre otros, se distinguen porque el monte central ofrece la figura de un domo ó meseta, que en nada se asemeja á un cono de erupción, provisto de abertura.

La extraordinaria semejanza que entre sí ofrecen los numerosos cráteres de la Luna nos evita que tengamos que hacer una descripción detallada de cada uno de ellos; sin embargo, nos ha parecido conveniente presentar algunas observaciones sobre los rasgos más característicos de los principales, que sirvan al mismo tiempo de explicación á los grabados que acompañan á esta obra; y lo que decimos de unos puede extenderse, sin perjuicio, á los muchos que dejamos olvidados,

Copérnico. Este cráter puede considerarse como uno de los mayores y más interesantes de todos los que cubren la superficie visible de nuestro satélite, pues si bien su diámetro (88 kilómetros) no aventaja al de otros, sin embargo, considerado en conjunto, merece un estudio particular y detallado; su situación cerca del centro del disco lunar, hace que se perciban todos sus maravillosos detalles, al mismo tiempo que los de los objetos próximos, con tal brillantéz y claridad, que forma, por decirlo así, uno de los cuadros de mayor atractivo que pueden observarse en la Luna. Su formidable trinchera se eleva á unos 4.000 metros sobre el nivel de la meseta, en cuyo centro casi, se distingue un magnífico grupo de conos, alcanzando tres de éstos una altura superior á 8.000 metros.

La trinchera se encuentra dividida por una serie de anillos concéntricos (fig. 140) que parecen deber su formación al hundimiento de la enorme masa que formaba la montaña que anteriormente existía en el mismo sitio y cuyos fragmentos se han ido depositando de un modo gradual alrededor del circo; por la parte exterior se observa igual fenómeno, aunque algo modificado. Con objeto de poderse formar una idea ligeramente aproximada de la sublimidad y grandeza de este magnífico ejemplar de los cráteres volcánicos de la Luna, deberá

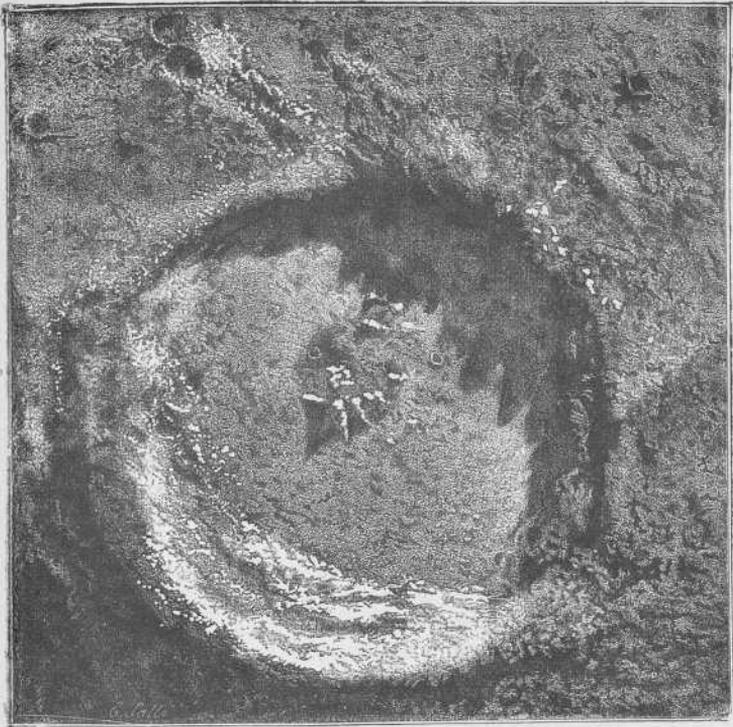


Fig. 140. — Cráter de Copérnico

el lector tratar de fijar su atención en su magnitud enorme, para darse cuenta en su imaginación de la escala verdadera de los detalles, del propio modo que de sus dimensiones generales, pues en tan alto grado difieren estos extinguidos volcanes lunares, por su enorme tamaño, de los que se observan en la superficie de nuestro globo, que podríamos decir que, para medirlos y apreciarlos con la imaginación, necesitamos acostumbrar nuestros sentidos á una nueva unidad ó módulo.

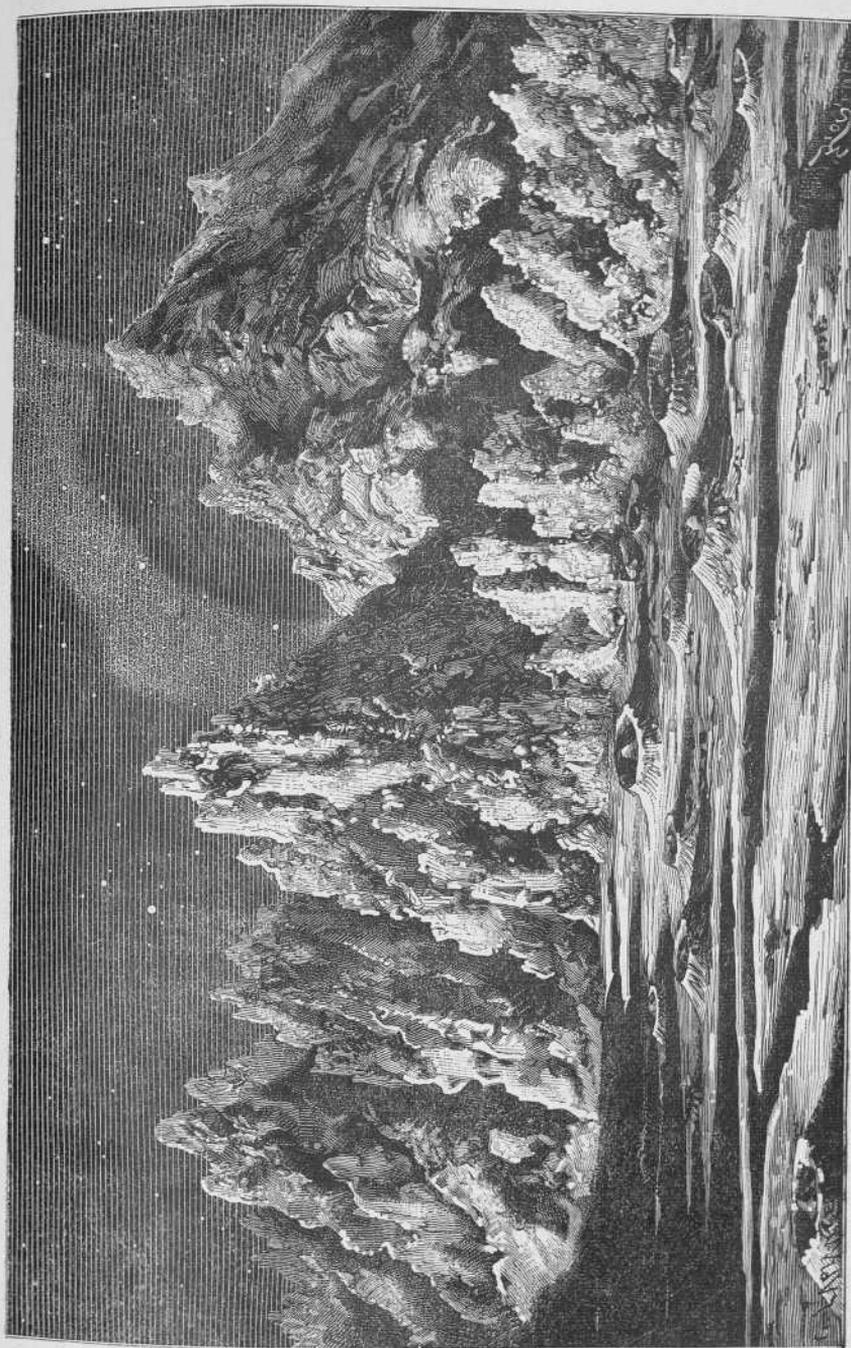
El cráter Copérnico es muy interesante también porque demuestra con toda evidencia que debe su formación al inmenso transporte de materia derretida que en alguna época hubo de arrojar por su foco ó centro de erupción sobre una

parte, ya considerablemente elevada, de la costra lunar. Un análisis cuidadoso del cráter y del territorio inmediato, hasta la distancia de 44 leguas en todos sentidos, nos demuestra de un modo evidente la vasta extensión y considerable fuerza de la erupción primitiva; pues de ella son buena muestra las grietas ó radiaciones brillantes que parten del centro del cráter en todos sentidos (véase la carta topográfica). Las radiaciones son mucho más perceptibles cuando la Luna está casi llena; cada una de estas bandas ó corrientes brillantes es el producto remanente ó testimonio, por decirlo así, de lo que en su origen fué una grieta ó hendedura de la costra sólida de la Luna, resultado de alguna poderosa y enérgica fuerza impulsiva interior, que se manifestó en las inmediaciones del cráter que estamos describiendo; á la rotura ó estallido de la corteza hubo de seguir la expulsión de la materia derretida del interior á través de las innumerables ranuras, extendiéndose la masa fluida en todas direcciones, y dejando estas radiaciones brillantes como mudos testigos de su paso y de la magnitud y fuerza del levantamiento; al mismo tiempo que el foco de erupción, de donde parten las grietas, dió lugar á la formación del hermoso cráter Copérnico.

Algunas de las arrugas ó crestas radiales arrancan de la parte externa de lo que hemos llamado trinchera ó murallas, y se pierden á largas distancias, que en varios casos llegan á ser de cerca de 40 leguas, y en otros dejan de distinguirse por la debilitación progresiva de su brillante luz y también por la disminución considerable de sus dimensiones; alrededor de la trinchera externa pueden observarse varias grietas ó hendeduras abiertas, de tamaño extraordinario, las que se deben probablemente á una acción posterior á la de la formación del cráter principal, y cuyo origen fué el resultado de la contracción producida por el enfriamiento de la corteza, ó bien á algún nuevo levantamiento posterior al de la formación de Copérnico, pues éste es indudablemente de una época anterior, toda vez que las corrientes de materia brillante aparecen como sobrepuestas.

En circunstancias muy favorables y con medios ópticos adecuados, se distinguen, hasta á una distancia de Copérnico de 25 leguas á la redonda, *millares* de cráteres pequeñísimos y perfectamente formados; la región del Sudeste en particular es riquísima en estos maravillosos ejemplares de la topografía lunar, pudiéndose suponer que descansan sobre las radiaciones brillantes; pero como las condiciones de iluminación indispensables para ver estos diminutos cráteres son precisamente contrarias á las que se necesitan para que sean visibles las radiaciones brillantes, esto es, que la Luna esté llena ó casi llena para un caso, y para el otro en cuadratura ó dicótoma, es imposible afirmar por observaciones simultáneas la coincidencia indicada.

Al Este de la trinchera puede también distinguirse una infinidad de estos pequeños cráteres, aunque no tan en tropel ó tan amontonados como en la región situada más al Oeste; no obstante, se observan millares de prominencias de escasa elevación, que examinadas detenidamente, aparecen como montones de materia interior ó eruptiva, que, por falta de fuerza necesaria, no llegó á tomar la forma de cráter, concretándose á perforar la corteza y á aparecer como un montículo, de lo cual tenemos amplios ejemplos en los levantamientos volcánicos terrestres producidos por fuerzas de escasa energía. Si tuviésemos que escoger una porción comparativamente limitada de la superficie lunar, en la que abundasen



PAISAJE LUNAR. - Vista ideal de la región de los Apeninos

las pruebas más fehacientes de la acción volcánica, en todas las variedades que puede ofrecer en sus diversas fases, ninguna sería más adecuada ni instructiva en todos sentidos que el cráter de Copérnico y el territorio que lo rodea.

Eudoxio y Aristóteles. Estos dos cráteres son gigantescos; Eudoxio mide 14 leguas de diámetro y sobre unos 4.000 metros de fondo (figura 141); Aristóteles tiene unas 20 leguas de diámetro y 3.500 metros de profundidad, medidos desde la cumbre del baluarte hasta la meseta inferior; ambos cráteres ofrecen de un modo marcadísimo todos los caracteres y síntomas de una verdadera acción volcánica; las partes y regiones, tanto exteriores cuanto interiores, de sus inmensas murallas presentan, en escala majestuosa, un efecto de denudación, cuyo resultado se demuestra por la aglomeración de los materiales acumulados en su base; el verdadero carácter eruptivo de la acción original de los cráteres se demuestra asimismo ampliamente por la existencia de los grupos de montañas cónicas que ocupan los centros de sus mesetas circulares, puesto que estas montañas cónicas, sin duda alguna descansan sobre los que en tiempo anterior fueron los respiraderos ó desahogos por donde se dió salida á la materia interior incandescente.

Hacia el Oeste de estos magníficos cráteres pueden distinguirse millares de cavidades circulares ó cráteres pequenísimos, es decir, en comparación de los anteriores, puesto que el más diminuto de todos tiene, á lo menos, 2 kilómetros de diámetro; tan espesos y apretados se presentan estos cráteres de escasas dimensiones, que puede decirse que es imposible contarlos; Nasmyth llama á estas regiones de la Luna *espuma de cráteres*, y por lo menos, el aspecto de estos parajes (véase el grabado siguiente) se asemeja algo á una espumadera. Los terrenos inmediatos á Aristóteles se caracterizan por las arrugas ó lomas radiales, originadas probablemente por el descenso de inmensas corrientes de lava muy fluida; en la parte del Este pueden distinguirse algunos montes y picos descarnados, é inmediatamente detrás una gran extensión territorial cubierta de montañas pequeñas, pero de igual clase, tan unidas y apretadas entre sí, que en condiciones favorables de iluminación presentan una infinidad de puntos brillantes aislados que contrastan fantásticamente con los espacios intermedios y con el fondo del panorama profundamente oscuro. Inmediato á Aristóteles, y hacia el Oeste, se percibe un cráter de forma perfecta, que mide unas 11 leguas de diámetro y presenta los caracteres distintivos de las circunvalaciones lunares.

A unas 15 leguas, poco más ó menos, al Este de Eudoxio, se halla un ejemplo notable de las grietas ó fisuras lunares; una de éstas, de un largo total de 20 leguas, se extiende, á través de un llano, como unas 11 leguas, y las otras 9 leguas cortan ó atraviesan un grupo de montes elevadísimos; esta enorme fisura es digna de atención, pues demuestra que la fuerza interna que la produjo debiera de haberse alojado en las profundidades, por no decir en el centro del globo lunar, toda vez que sus manifestaciones aparecen, sin reparo á la configuración de la superficie, lo mismo en los llanos que en las cordilleras.

Otros objetos dignos de estudio se encuentran en las inmediaciones de estos dos cráteres notables, todos ellos excelentes tipos de la formación lunar.

Tycho. Este magnífico cráter, que ocupa el centro de la región meridional de la Luna, tiene 22 leguas de diámetro y más de 5.000 metros de profundidad,

desde el borde más elevado del baluarte hasta la superficie de la meseta, en donde se levanta un gran cono central de 2.000 metros de altura; puede decirse que Tycho es el más hermoso y notable de los cráteres lunares, no tanto por sus dimensiones, sino porque ocupa el gran foco de rotura ó fraccionamiento, de donde arrancan en todos sentidos las admirables radiaciones brillantes, que se extienden por valles, mesetas y montes, hasta una distancia de 400 y más leguas. Tenemos motivos suficientes para suponer que Tycho es muestra ó indicio de una inmensa rotura de la corteza sólida de la Luna, la cual hubo de fisurarse en

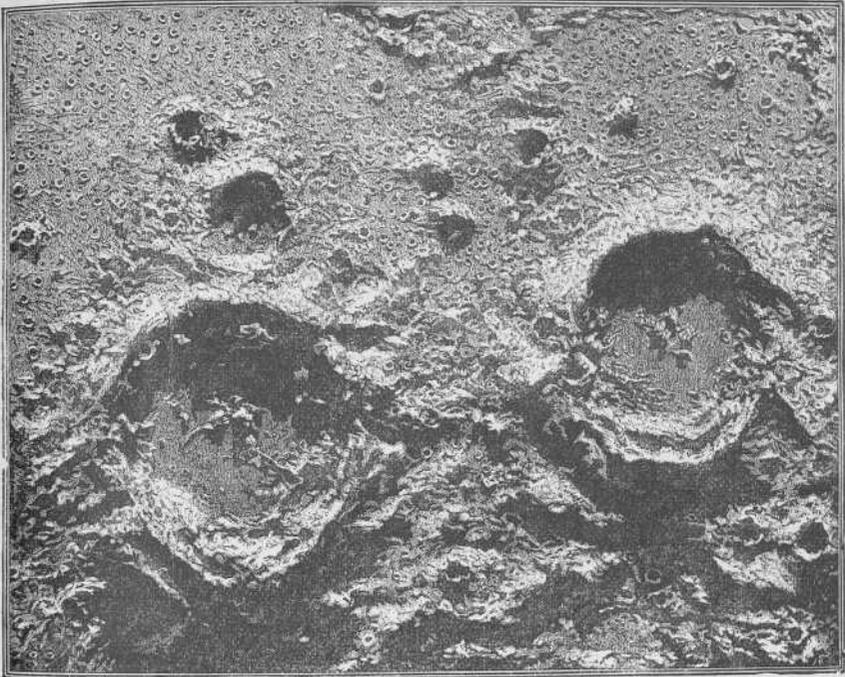


Fig. 141. — Cráteres de Eudoxio y Aristóteles

todos sentidos, rellenándose las grietas con la materia incandescente ó lava interior, cuya considerable potencia luminosa señala la dirección de las fisuras y permite reconocer que todas parten del inmenso cráter. Tan numerosas se muestran las bandas brillantes cuando se examinan con el telescopio, que dan á la región que ocupan en la Luna un resplandor extraordinario, pudiéndose percibir á la simple vista, en la época del plenilunio, la parte meridional del disco, cruzada en todas direcciones por estas hermosas bandas de plata, representadas en la figura 115 de la Luna llena.

Tycho hubo de servir en un tiempo como de válvula de seguridad de la fuerza expansiva interior, causa, en primer término, de las grietas y fisuras de esta vasta porción de la costra lunar; la materia fundida que parece haber sido for-

zada á través de estas grietas, al encontrar una salida ó respiradero, comparativamente libre, por el cráter de Tycho, dejó la zona de alrededor casi sin quebrantar, al paso que por las innumerables grietas producidas por el esfuerzo precedente salió el exceso de lava interior, que, al enfriarse, relleno estas hendiduras, dejando, por tal medio, un testimonio eterno de la primitiva disposición de las fisuras.

Los Apeninos. La figura 142 representa una parte de la magnífica cordillera de montañas volcánicas, llamada del propio modo que la gran cordillera italiana, y cuya longitud total viene á ser de unas 200 leguas; este grupo de montes se eleva de un modo gradual sobre una superficie relativamente plana, situada

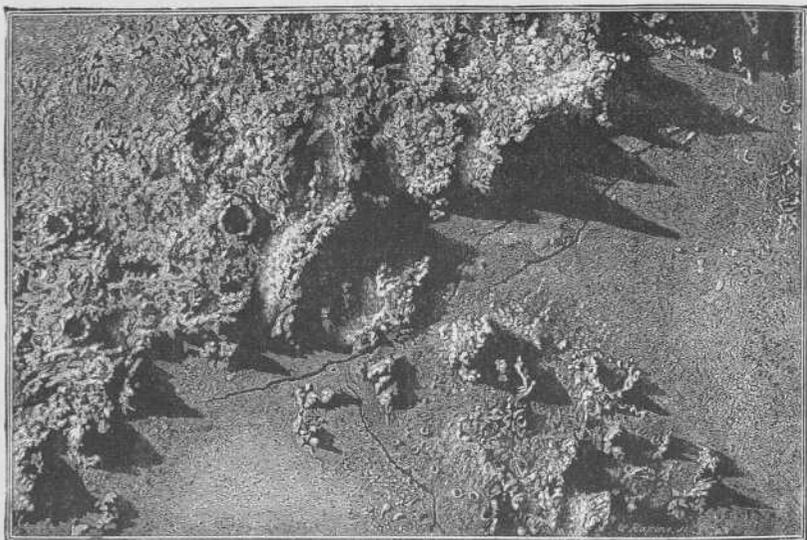


Fig. 142. — Los Apeninos Lunares; fragmento de un dibujo de Nasmyth
(Escala de 10^{mm} por 37 kilómetros.)

hacia la región del Sudoeste, bajo la forma de pequeñas montañas de exudación que crecen en número y altura hacia el Nordeste, donde culminan, terminando bruscamente en una serie de picos sublimes, cuya elevación y aspecto rugoso forman una de las escenas más imponentes que puede concebir la imaginación. La parte Nordeste de la serie termina en unos terribles precipicios, casi verticales, cuyas sombras se proyectan sobre el llano inferior, extendiéndose algunas al Sol naciente 35 leguas, hasta perderse en la sombra general producida por la curvatura de la superficie lunar. No hay nada comparable á la sublimidad de esta hermosa cordillera, cuyos montes tienen de elevación de 6.000 á 7.000 metros sobre el plano de la base. La época más favorable para examinar los detalles de esta soberbia cadena es la del primer cuarto de la Luna, pues entonces la estructura general de la cordillera y el carácter del contorno de cada miembro del grupo pueden distinguirse fácilmente, gracias á la iluminación particular que en

estas circunstancias recibe nuestro satélite. Entre los montes se perciben algunos cráteres relativamente pequeños, pero de formación perfectamente regular, los cuales demuestran el carácter eminentemente volcánico de la región inmediata, que, como llevamos dicho, comprende en un espacio limitado un ejemplo patente de la constitución volcánica de nuestro satélite.

Como hemos manifestado en la breve descripción que vamos haciendo del hemisferio visible de la Luna, y según puede comprenderse hojeando rápidamente los mapas y grabados del texto, el carácter distintivo de la superficie lunar se contrae á las formaciones circulares ó de anfiteatro, que por su número y por la uniformidad de su aspecto indujeron á los primeros observadores á

considerarlas como de origen artificial; al continuar, pues, el examen detallado de esta parte de los accidentes lunares, tenemos que consagrar la mayor atención al estudio de las montañas crateriformes. Cuando se examinan las cavidades de la Luna con un telescopio de mediano poder óptico, se perciben las sombras de

sus baluartes, picos y escarpados bordes, proyectadas hacia el lado opuesto de aquel en que el Sol se encuentra; en la figura 143 podemos percibir la silueta de la cresta del baluarte de la derecha, proyectada sobre el fondo del cráter, y la cima del baluarte opuesto, que arroja su sombra sobre la llanura inmediata; en este grabado se representa el aspecto del monte lunar al ser herido por los primeros rayos del Sol, y en la figura 144 se reproduce el mismo cráter iluminado en sentido contrario, ó sea por los posteriores rayos solares.

El término general de cráter se emplea para representar casi todas las cavidades circulares que se observan en la Luna, por más que esta palabra, en su sentido literal y etimológico, tan sólo significa la excavación ó hueco que ofrece la forma de una copa. Pero entre los geólogos se usa en un sentido más estre-

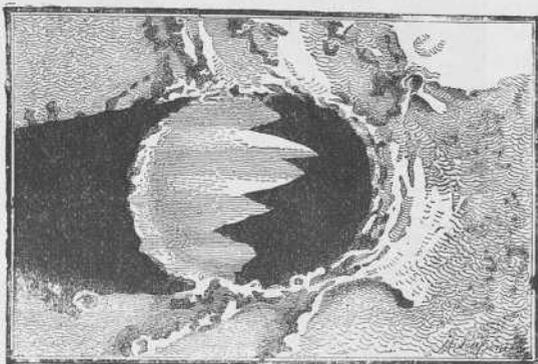


Fig. 143. — Cráter lunar iluminado por el Sol naciente en la Luna

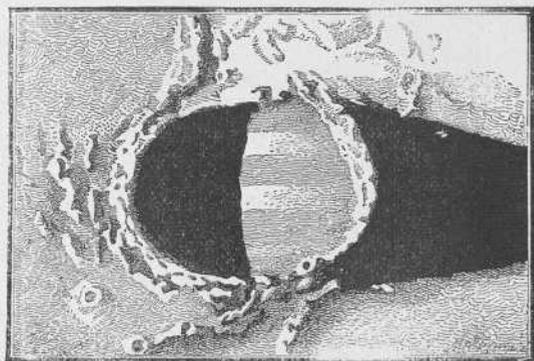


Fig. 144. — El cráter anterior iluminado por el Sol poniente en la Luna

cho, aplicándola únicamente á las excavaciones que se encuentran en las cumbres de los volcanes, ya en actividad, ora apagados; en este sentido especial pue-

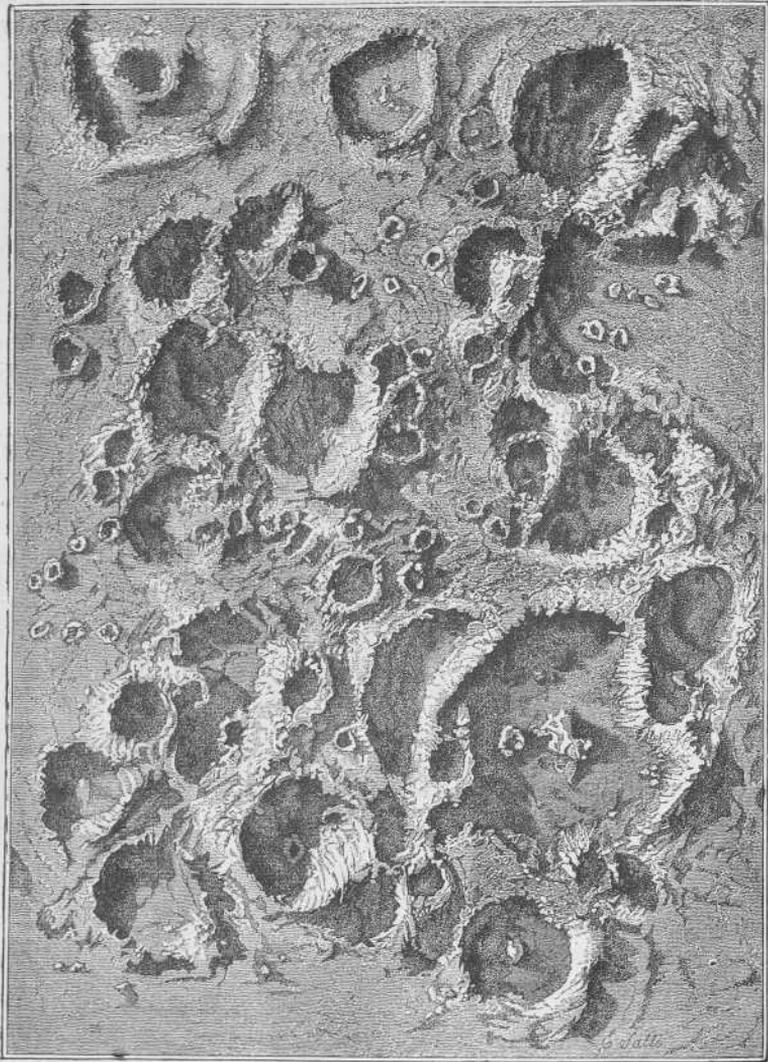


Fig. 145. - Cráteres lunares al Sudeste de Tycho

de usarse por los selenógrafos, aunque en algunos, por no decir en el mayor número de casos, los cráteres lunares difieren materialmente en su forma, respecto de los terrenos que los rodean, de los objetos que en la Tierra se conocen con

igual nombre; pues, al paso que estos últimos, como hemos dicho, son por lo general excavaciones ó cavidades en la cima de un monte, con su fondo plano mucho más alto que el nivel del terreno próximo, los cráteres lunares presentan los puntos inferiores de su cavidad mucho más deprimidos y bajos que la superficie general del satélite, siendo muchas veces su altura exterior tan sólo como una mitad ó una tercera parte de la profundidad total interna. Sin embargo, hay cráteres lunares perfectamente comparables á los terrestres y que ofrecen, según la expresión de Herschel, el verdadero carácter volcánico en su mayor perfección. En la Tierra tenemos

algunos ejemplos demostrativos de que las condiciones geológicas que determinaron la formación superficial de ciertos parajes fueron idénticas á las que hubieron de obrar sobre la Luna, y su resultado se manifiesta en algunos distritos volcánicos que, de poderse observar en iguales condiciones que nuestro satélite, á través del telescopio, presentarían un aspecto por todo extremo semejante al de determinadas zonas de nuestra fiel compañera. El ejemplo más notable de este parecido nos lo

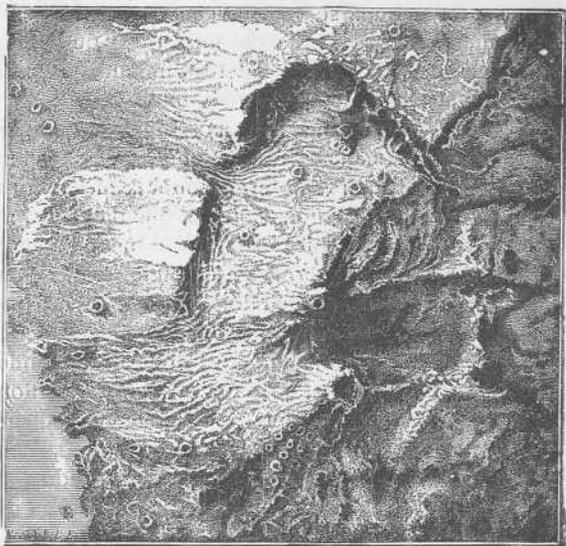


Fig. 146. — El Pico de Tenerife y sus alrededores por Piazzzy Smyth

ofrecen los terrenos volcánicos de las cercanías de Nápoles, conocidos desde los tiempos clásicos con el nombre de Campos Flégreos ó campos ardientes, nombre que recibieron en edad remota, bien porque mostrasen trazas del antiguo fuego terrestre, ora porque la tradición asignase á estos terrenos la existencia de manantiales calientes y de emanaciones sulfurosas, que hubieron de cesar hace largo tiempo; la semejanza de que venimos hablando es en este punto tan estrecha, que el profesor Phillips, en su libro sobre el Vesubio, en el que se encuentra una descripción histórica de los terrenos próximos al monte, llama á la Luna un gran campo flégreo.

Compárese ahora con la figura 145 la figura 146; la primera representa una región característica de la Luna, en la parte situada al Sudeste de Tycho; la figura 146 es reproducción de un dibujo de los alrededores del Pico de Tenerife, hecho por el astrónomo inglés Piazzzy Smyth.

La enorme discrepancia aparente que presentan entre sí los volcanes terrestres y los lunares, ha hecho que algunos astrónomos manifiesten dudas respecto

del verdadero carácter volcánico de los montes de la Luna; sin embargo, hay una circunstancia particular en la mayoría de los montes anulares de nuestro satélite, que demuestra cumplidamente que las fuerzas volcánicas obraron un tiempo en el satélite con completa libertad y energía, circunstancia ó detalle que imprime un sello plutónico marcadísimo á la estructura crateriforme. Nos referimos al cono central, signo característico de los volcanes terrestres, formado por los últimos esfuerzos de la potencia eruptiva, insuficiente para arrojar á gran distancia del orificio ó respiradero la materia y productos interiores, que, acumulados en el centro de la cavidad, llegaron á formar estos picos ó conos aislados; en la Luna se ven los conos centrales, en los cráteres pequeños, que son comparables á los volcanes terrestres y que comprenden todas las magnitudes imaginables, desde los cráteres diminutos de 2 kilómetros de diámetro, hasta los inmensos de 40 á 50 leguas de extensión.

Cierto es que también hallamos infinitos ejemplos de cráteres sin cono central, de todos tamaños y dimensiones, y algunos tan considerables, que difícilmente puede atribuirse su formación á la fuerza eruptiva.

Cuando una explosión violenta, que da origen á un gran cráter en la cima de una montaña volcánica, cesa más ó menos completamente, el orificio de salida ó respiradero, de forma de embudo, queda obstruido con los escombros. Sin embargo, de vez en cuando se abre la boca para dar paso á los gases y materias carbonosas, que se amontonan alrededor del orificio, de un modo semejante al empleado por el monte principal, formándose el cono inferior, el cual puede á su vez presentar un cráter en la cima, con otro pequeño cono interior; á medida que la acción ó esfuerzo volcánico va cediendo, la lava derretida que rellena la cavidad deja de emitir gases y vapores, y poniéndose en contacto con la atmósfera, se solidifica rápidamente, formando el suelo ó piso del cráter.

Sucede á las veces que una segunda erupción, comparable por su violencia á la primera, se verifica por la misma abertura, y en este caso, el cono interior adquiere tal magnitud, que viene á constituir el objeto principal de la montaña, quedando reducido el antiguo cráter á objeto de carácter secundario. Esto precisamente es lo que ha ocurrido con el Vesubio; durante la erupción de 1631, el gran cono que ahora llamamos Vesubio voló por completo, y el antiguo cráter, que se conoce con el nombre de Monte Somma, vino á convertirse en un pequeño accidente de la montaña entera. La cúspide del Vesubio, esto es, el vértice del cono original, ha cambiado varias veces de hechura, volando y siendo dispersado en todas direcciones, produciéndose una gran excavación crateriforme, que á su tiempo volvió á llenarse con un nuevo cono de igual forma y composición que el anterior.

En el estudio de los volcanes lunares tropezamos con graves dificultades para averiguar el proceso que han seguido en su formación, puesto que no nos es posible saber con certidumbre cómo se han construido esos inmensos circos en nuestro satélite, ni conservamos testimonios escritos de sus metamorfosis, como ocurre con algunos de los volcanes del globo que habitamos, pues por imperfectas que sean las descripciones que nos han legado nuestros antepasados, contribuyen y mucho para aclarar nuestras ideas sobre ciertos puntos du- dosos. La actividad volcánica, aun debilitada como se encuentra en la actuali-

dad, persiste empero en la Tierra, al paso que en nuestro satélite parece haber cesado por completo, dejando tan sólo marcada una señal de su paso y de sus efectos. Si en nuestros días nos hubiese sido dado contemplar la formación de un cráter lunar, esto es, la expulsión de la materia eruptiva interior y el levantamiento consiguiente de la corteza, nuestra tarea se hubiera simplificado mucho con la simple descripción del fenómeno; pero toda vez que no es así, nos vemos obligados á deducir el proceso de formación, del estudio y particularidades de la estructura final y definitiva de la generalidad de las excavaciones y calderas volcánicas.

No es posible dudar, al ver la extraordinaria semejanza que, por lo común, presentan los volcanes terrestres y los lunares, de la igualdad del proceso de formación en ambos casos; pues si bien se advierten algunas ligeras diferencias, podemos atribuir las á las que existen en las condiciones esenciales de ambos globos; la mayor desemejanza la hallamos en las respectivas dimensiones de los cráteres; apenas podemos concebir que la materia eruptiva de la Tierra pueda ser arrojada á la distancia considerable de 8 ó 9 leguas del orificio volcánico, y sin embargo, en nuestro satélite hallamos condiciones excepcionalmente favorables á la acción dispersiva de la fuerza volcánica interna. En primer lugar, la fuerza de gravedad en la superficie de la Luna es tan sólo la sexta parte de la que obra sobre los cuerpos terrestres; además, en razón de la reducida magnitud de la Luna y de su mayor superficie respecto de su tamaño, debió perder su calor cósmico con rapidez mucho más considerable que la Tierra, en particular hallándose favorecido el enfriamiento por la ausencia de atmósfera preservadora, compuesta, como la terrestre, de aire y vapor de agua; en proporción á la rapidez del enfriamiento, aumentaría la energía de las fuerzas eruptivas y de dislaceración; debido también á la disminución de peso de la materia eruptiva al hallarse en la superficie de la Luna, el desarrollo y esfuerzo útil de la acción volcánica tuvo lugar en las condiciones más favorables. Por otra parte, como la materia arrojada, en su camino desde el centro de expulsión, no tropieza con ninguna resistencia atmosférica, permanece en condiciones convenientes para continuar su impulso primitivo, sin más disminución que la que ocasiona la diferencia en la fuerza de gravedad, pudiendo, por tanto, depositarse á grandes distancias de su orificio de expulsión, distancias que en la Tierra, por otras y contrarias causas, son mucho menores.

Tan sólo nos es dado formar algunas conjeturas sobre el principio y naturaleza de las fuerzas volcánicas de la Luna, puesto que si los geólogos han tropezado con graves dificultades para asignar su origen á la fuerza que ha producido los volcanes terrestres, en cuyos cráteres penetra el hombre y los estudia de cerca, cuyos procesos puede investigar y cuyos componentes analiza, ¿cuánto más grande no será la dificultad que se experimenta al inquirir la causa primera del poder que ha obrado en nuestro satélite, situado á noventa mil leguas de distancia y cuyas substancias no nos es posible examinar, ni saber si se encuentran condensadas por el calor ó separadas por los vapores? Los geólogos atribuyen, por lo común, á la acción del vapor la formación de los volcanes terrestres, aceptando que el agua, puesta en contacto con la materia nuclear en fusión, hubo de desarrollar una fuerza expansiva tan considerable, como para producir las con-

mociones volcánicas y dar origen á la acción expulsiva; pero al hablar de los volcanes lunares, nos vemos obligados á rechazar la idea del influjo del vapor de agua, porque semejante elemento no existe en la superficie de nuestro satélite; pues si bien es cierto que nada nos impide aceptar la existencia de una corta cantidad de agua en la Luna en una época remota, también es verdad que una proporción de agua tan pequeña sería insuficiente para desarrollar la acción volcánica inmensa que acusa la accidentada superficie del satélite. Si admitimos un origen neptuniano para explicar las convulsiones del suelo lunar, nos vemos obligados á suponer que su superficie se hallaría en un tiempo cubierta por una inmensa cantidad de agua, proporcional, magnitud por magnitud, á la que existe sobre la costra del globo terráqueo; pero nada, repetimos, nos autoriza para sustentar esta hipótesis, sin fundamento razonable.

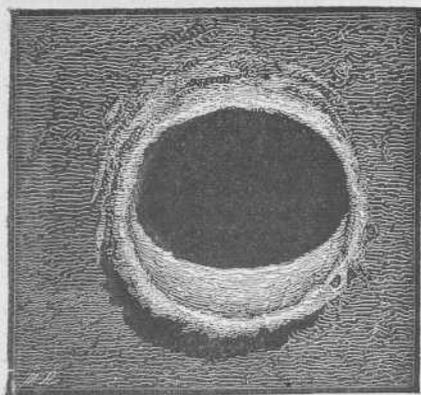


Fig. 147. - Cráter lunar de fondo elíptico y bordes regulares

Rechazada la existencia del vapor de agua, tenemos que buscar en otra dirección para hallar la clave de la fuerza eruptiva; de la naturaleza de la materia lunar nada sabemos, y por lo tanto, nada absolutamente podemos deducir, en buena lógica, de un principio desconocido; empero, algunos han supuesto que en la Luna pudieran existir ciertos vapores expansivos particulares, como productos de determinados componentes volátiles en estado de fusión, ó generados por combinaciones químicas. El profesor Dana indica el azufre como el elemento más importante de la geología lunar, apoyándose tan sólo

en que es muy común hallarlo entre las sustancias que juegan en los procesos terrestres de naturaleza ígnea ó volcánica, y también porque se sabe que forma parte de los meteoros cósmicos, que por haber caído en la Tierra se han podido analizar en los laboratorios; cualquiera substancia sublimada por el calor interno de la Luna habría de condensarse al llegar al espacio frío que la rodea, depositándose en polvo impalpable ó en otra forma sólida. Maedler atribuye el extraordinario poder reflector de ciertas regiones de la superficie, tales como las radiaciones luminosas que parten de los cráteres Tycho y Copérnico, por ejemplo, á la vitrificación de la materia superficial por las corrientes gaseosas.

El proceso efectivo de formación de un cráter lunar difiere del que podría producir un cráter terrestre, únicamente en las distintas condiciones de cada uno de los dos cuerpos celestes: por ejemplo, debemos hacer una distinción entre la naturaleza del suelo de la Luna y la de la superficie terrestre; el suelo de nuestro satélite constituye lo que se ha llamado siempre estrato ó capa continental, al cual pertenecen las regiones montañosas que cubren casi por completo la región austral del hemisferio visible. A este propósito, dice Chacornac en una memoria sobre el aspecto de la superficie lunar, que la estructura porosa de nuestro

satélite, su considerable poder reflector, y sobre todo la elevación de sus cordilleras sobre la parte llana, han hecho que se las distinga claramente del suelo nivelado, cuyo color obscuro y superficie lisa le dan el aspecto de llanuras de aluvión, según decía J. Herschel. Chacornac no acepta que los llamados mares de la Luna sean, en efecto, llanos de aluvión, al menos en el sentido terrestre de esta frase, si bien admite, apoyándose en fenómenos interesantes y numerosos, que al período primitivo en que aparecieron las mayores circunvalaciones, debió suceder una especie de diluvio general ó de expansión fangosa, la cual hubiera sepultado bajo una masa oscura más de las dos terceras partes de la superficie visible de la Luna, y también el fondo de todos los grandes cráteres, extendiéndose de un extremo á otro, casi á un mismo nivel.

En efecto, entre los innumerables cráteres que cubren la superficie del suelo lunar, hay unos que presentan en su interior una excavación de forma cónica, por lo regular, perfectamente vaciada, y cuyos bordes ó escarpas están intactos (fig. 147). Otros, por el contrario, presentan sus baluartes cubiertos de accidentes y tajos, y el fondo al mismo nivel que los valles inmediatos (fig. 148). Hacia la orilla de los mares, sobre todo, es donde se encuentran estos cráteres parcialmente derruidos y cuya cavidad se ha rellenado por la materia expansiva de que habla Chacornac. «La configuración de estas orillas presenta vastas bahías semicirculares, cuya entrada se encuentra en parte

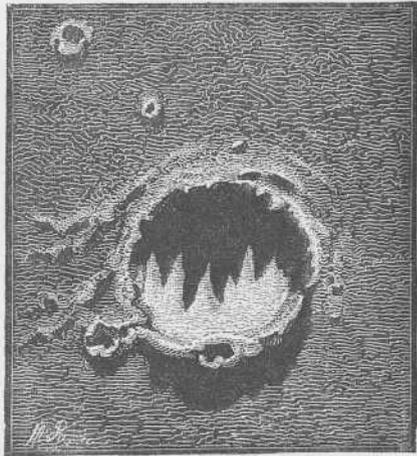


Fig. 148. — Cráter lunar de fondo llano ó rellenado

obstruída por los escombros ó despojos de las demolidas escarpas, precisamente en la dirección del mar amplio (fig. 149), como por otra parte vemos que ocurre en el fondo del cráter que forma la isla volcánica de San Pablo, situada en el Océano Indico, invadida en nuestros días por las aguas del Océano.» El golfo de Iris, en la orilla del mar de las Lluvias, es un ejemplo notable de esta clase de invasión, por más que no sea el único, pues podemos citar, entre otros, Hípalo y Doppel Mayer en el mar de los Humores, Davy y Bonpland en el de las Nubes, Frascator en la orilla austral del mar de Néctar, etc., etc.

En el interior de las llanuras hay también varios cráteres que aparecen, en parte, cubiertos por la misma irrupción de las materias líquidas; Chacornac cita los circos de Kies y Lubinietzky, situados en el mar de las Nubes, como tipos de esta formación curiosa: «cada una de ellas presenta unas escarpas de cuarenta y cinco leguas próximamente de desarrollo, y trescientos metros de altura, levantadas á pico, en medio de un desierto inmenso; en cambio, otros circos parecen sepultados por completo, distinguiéndose sólo algunos ligeros vestigios como mudos testimonios de su existencia.»

Hemos visto que un gran número de cráteres y circos lunares encierran en su interior montañas aisladas en forma de picos ó de pirámides, llegando algunas cavidades, como la de Copérnico, por ejemplo, á contener seis montes centrales; pero es en verdad muy notable que ninguna de estas asperezas alcance la altura de las escarpas que forman el recinto; y aun puede decirse que la mayor parte se encuentra á un nivel inferior al de la superficie lunar de donde ha salido el cráter. Según Beer y Maedler y Schmidt, gran número de montes centrales tienen una altitud inferior, en unos 2.000 metros, al borde medio del baluarte ó muralla circular; sus vértices se hallan unos 200 metros más bajos que el nivel medio del suelo de esta parte de la Luna. Humboldt, al citar estos hechos, hace referencia á la opinión de Buch, que no consideraba que estas masas fuesen producidas por erupciones volcánicas, asimilándolas á los grandes domos

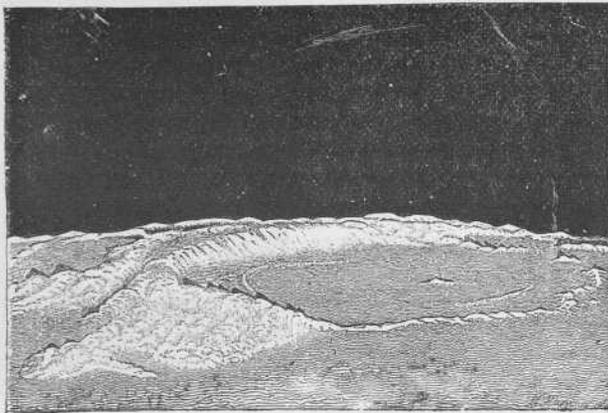


Fig. 149. — Cráter lunar medio derruido en las orillas del Océano de las Tempestades
(Dibujo de Chacornac.)

traquíticos, cerrados por el vértice y que con tanta abundancia se encuentran en la superficie de la Tierra, como los del Puy-de-Dôme y Chimborazo.

Hemos de hablar ahora de otra particularidad notable que presenta nuestro satélite: de las cordilleras ó cadenas de montañas, accidentes mucho más parecidos á los de nuestro globo que los cráteres y estructuras circulares de que hasta aquí hemos venido ocupándonos. Y lo primero que, al considerar la superficie de nuestro satélite, llama la atención, es la escasez de las cordilleras y la abundancia de cráteres; esto es, que ocurre lo contrario que en la Tierra, donde los cráteres y volcanes son raros, habiendo en cambio infinitas sierras y sistemas montañosos; otra circunstancia también notable es que las cordilleras más importantes de la Luna se encuentran en la parte boreal del hemisferio visible, donde los cráteres son escasos, y los espacios llamados mares más numerosos. La cordillera más hermosa es la que lleva el nombre de nuestros Apeninos y que en parte se representa en la figura 150; se extiende 130 leguas, y se calcula que contiene más de 3.000 picos, uno de los cuales, el Monte Huyghens, se eleva

unos 6.000 metros: el Cáucaso es otra cordillera lunar, que parece como una ramificación boreal de la cadena de los Apeninos, y aunque es mucho menos grandiosa que la anterior, cuenta con varios picos elevados, alcanzando uno de ellos la altura señalada para el Monte Huyghens, al paso que otros oscilan entre 3.000 y 4.000 metros: otra cadena considerable es la de los Alpes, situados entre el Cáucaso y el cráter Platón; contiene sobre 700 picos ó montes de esa forma, y se distingue por su inmenso valle de 35 leguas de largo y unas 2 de ancho, que lo corta en línea tan recta que parece una construcción artificial; y si no fuese por lo plano del fondo, pudiera creerse que algún cuerpo extraño, como una inmensa bala de cañón, hubiese pasado con rapidez extraordinaria tangente á la

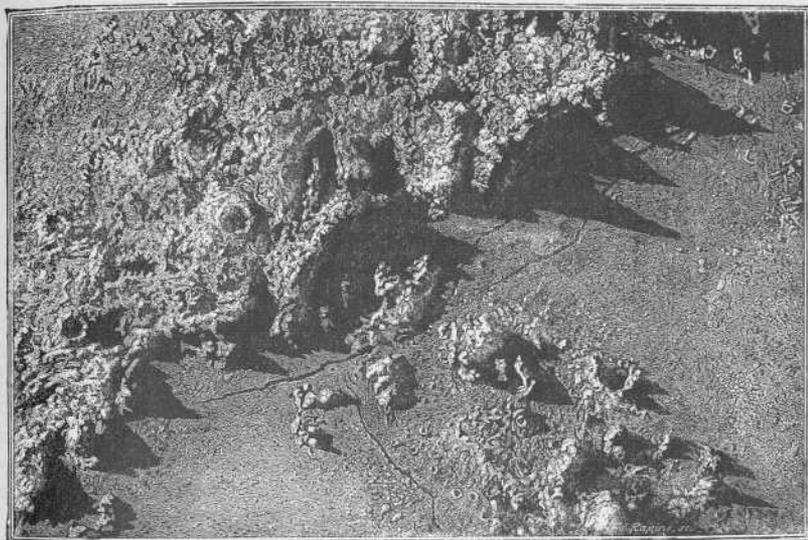


Fig. 150. — Los Apeninos lunares

superficie lunar, produciendo á través de las macizas montañas esta gigantesca sajadura ó canal rectilíneo; hay algunas otras cordilleras de menor importancia, pero basta con las enunciadas para que se pueda formar una idea del sistema orográfico de nuestro satélite.

Se observa asimismo que en las cordilleras hay una tendencia dominante en presentar sus macizos más elevados en líneas que terminan bruscamente, y orientadas en sentido contrario al de la rotación lunar; y á medida que se separan de la línea que podemos considerar de máxima elevación, comienzan á descender de un modo análogo á lo que observamos en las cadenas de montañas terrestres, pues en nuestro planeta principian en el llano las primeras estribaciones de la sierra, cuyos montes adquieren mayores proporciones según se avanza hacia el interior de la cordillera, hasta que vuelven á descender, para perderse suavemente en el llano.

Encuéntrense en la Luna también algunos picos aislados, aunque son poco numerosos, situados, por lo general, en la región montañosa á que hemos aludido. Varios se distinguen al Oeste de la cordillera alpina, siendo el que mejor se conoce Pico, que se eleva bruscamente sobre una llanura hasta la altitud de 2.500 metros, situada en el cráter Platón, donde se distinguen dos manchas ó sombras largas, producidas por dos montes de estrecha base y gran altura, que son Pico y su compañero; á una distancia de 16 leguas, hay otro cono, sin nombre todavía, de unos 1.400 metros de elevación, y más lejos, hacia el Este, detrás de un pequeño cráter que está unido á Platón por una colina, se encuentra una tercera montaña piramidal, casi tan alta como Pico.

Hasta aquí hemos limitado nuestra atención al estudio de las reacciones que la masa interna y fundida de la Luna han producido sobre su costra ó superficie externa, y tenemos ahora que considerar algunos fenómenos que resultan en parte de estas reacciones, y en parte también de ciertos efectos debidos al enfriamiento, acompañados á veces de erupciones de la materia fundida del núcleo. Las más importantes y notables son las bandas luminosas y brillantes que examinamos ya de pasada, visibles en condiciones particulares de iluminación y que irradian en varias direcciones de un solo cráter, y también las líneas de materia brillante que se extienden leguas y leguas en la dirección de un círculo máximo.

En el hemisferio visible de la Luna podemos contemplar varios casos de este sistema de radiaciones: los cráteres focales más notables son Tycho, Copérnico, Keplero, Aristarco, Menelao y Proclo; por lo general presentan baluartes y cimas interiores que se distinguen por el mismo brillo peculiar ó extraordinario poder reflector, que tan resplandeciente se muestra, en especial cuando la Luna está llena, pues en otras condiciones se percibe con suma dificultad; durante el plenilunio se ve que las radiaciones cruzan á través de las llanuras, montes, cráteres y toda clase de obstáculos y asperezas, prosiguiendo su curso sin que les sirvan de impedimento, ni les hagan variar de dirección, los múltiples accidentes de la superficie lunar.

El sistema más notable y grandioso es el que arranca de Tycho, el cual puede observarse en la lámina de la Luna llena; de los Cárpatos y de los cráteres Aristarco, Copérnico, Keplero y Eulero parten también infinitas radiaciones (fig. 151) que parecen ligarse unas á otras; las de Tycho se prolongan hasta distancias inmensas, y las de Copérnico, aunque más cortas, son numerosísimas, siendo muy difícil contarlas y casi imposible hacer un dibujo exacto de sus infinitos enlaces y ramificaciones.

Algunos astrónomos han tratado de explicar la causa productora de estas bandas, atribuyéndolas á corrientes de lava salidas del cráter colocado en el centro de divergencia, que se hubiesen extendido por la superficie; pero esta teoría es poco verosímil, puesto que no es de suponer que la lava, por fluida que se encontrase en el momento de su aparición por el cráter, corriese como un torrente á través de las infinitas grietas, cada una de las cuales presenta una anchura igual al diámetro del cráter mismo, y esto en una extensión de centenares de leguas y cruzando colinas, montes, valles y ranuras.

En vista de que las bandas brillantes no presentan el menor relieve, han de-

ducido varios observadores que puede deberse su existencia á masas de vapores que hayan salido por las hendeduras, condensándose en forma sublimada ó pulverulenta á lo largo de las radiaciones; vapores condensados que tendrían además la propiedad de reflejar considerablemente la luz solar. Que substancias minerales ó metálicas de diversas clases depositen por condensación polvos muy blancos ó sublimados, cosa es que puede admitirse sin violencia, y esta explicación de la luz brillante de las bandas y de los cráteres situados en los focos ó centros de divergencia, es muy admisible, en cuanto concierne meramente á su mayor brillantez; pero como quiera que hallamos invariablemente

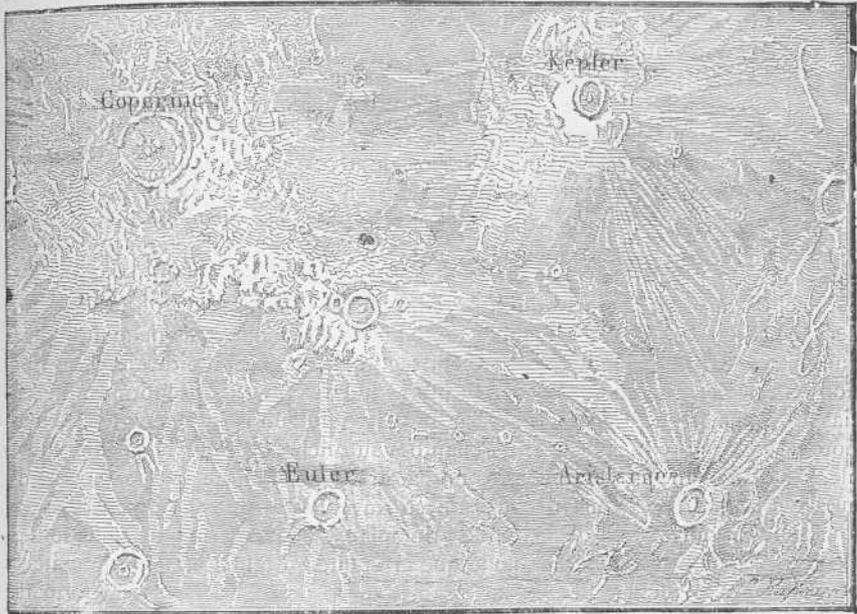


Fig. 151. — Cráteres radiantes de Copérnico, Keplero, Eulero y Aristarco

un cráter ocupando el centro de divergencia ó irradiación, y estos cráteres poseen todas las particularidades y detalles característicos de su verdadera naturaleza volcánica, como resultado de enérgicas expulsiones de lava y escoria, no es posible negar que la materia del cráter y la de las bandas luminosas divergentes tienen un origen común.

Y el mismo de las bandas luminosas, sin duda alguna, ha de ser el de las llamadas *ranuras* ó *canales*, cuyo número es casi infinito, y que se presentan ora en grupos, ora aisladas; se observa en su aspecto, sin embargo, alguna diferencia con las bandas luminosas, pues parecen formadas por dos taludes acantilados y paralelos, sin escarpas, que dejan entre sí un foso profundo y rectilíneo; durante la Luna llena son blancas, pero en las demás fases aparecen como líneas negras, proyectándose la sombra de uno de los bordes sobre el fondo del foso ó

ranura. Las más notables son las que forman un grupo situado al Oeste del cráter Treisnecker; convergen hacia un pequeño cráter, demostrando de esta suerte la continuidad de una misma causa, y por lo tanto, análoga á la relación evidente que existe entre las bandas luminosas y sus cráteres focales; son también dignas de estudio, aunque menos importantes, las ranuras aisladas que se observan en la región boreal de los Apeninos (fig. 150), alguna de las cuales, por su paralelismo con la dirección de la cordillera, parece indicar la comunidad de su origen; hay otro ejemplar de gran longitud, y varios más cortos, en la inmediata vecindad de Mercator y Campano, y otro sistema curioso por sus circunvoluciones, en relación directa con los montes Aristarco y Herodoto; las ranuras radiales que parten de Copérnico, Capuano, Agrippa y Gassendi (fig. 152) son también en extremo interesantes.

Algunas de estas hendeduras son tan notables, que pueden distinguirse con moderados medios ópticos; y desde este grado máximo de visibilidad comienzan á decrecer en tal proporción, que se necesitan los mejores y más perfectos telescopios para poderlas columbrar. Los primeros selenógrafos llegaron á distinguir muy pocas; Schroeter observó 11, Lohrman 70 más; Beer y Maedler agregaron 75 á la lista, al paso que Schmidt, de Atenas, elevó su número hasta 425, de las cuales ha publicado un catálogo descriptivo; hay que considerar que este aumento progresivo de los descubrimientos se debe, por una parte, á la perfección de los anteojos modernos, y de otra, á la educación de la vista, por decirlo así, puesto que el telescopio de Schmidt es mucho más pequeño que el que usaron Beer y Maedler, y también, según el propio Schmidt, de clase inferior, en relación con su tamaño. Las ranuras lunares presentan enormes diferencias en cuanto á su longitud, pues las hay desde algunos kilómetros de extensión, hasta de 60 y más leguas; en cuanto á su ancho, son mucho menos sensibles las discrepancias, y las mayores no pasan de 3 ó 4 kilómetros, siendo la dimensión normal, en la mayor parte de su trayecto, de unos 1.600 metros; por lo común, es muy difícil decir dónde principian y dónde terminan, pues se desvanecen en las llanuras, á menos de que arranquen ó mueran en algún cráter ú otra aspereza, lo cual ocurre en un gran número de casos. Es difícil formarse una idea exacta de su profundidad, si bien, á juzgar por lo agrio de sus bordes, pudiéramos creer que sus lados son casi perpendiculares, y por lo tanto, que su fondo debe de ser muy profundo. Según Carpenter, puede asignárseles una profundidad de 4 leguas.

En determinados casos y en circunstancias muy favorables se observa que el interior es, por lo general, negro, interrumpido de cuando en cuando por manchas brillantes, formadas quizás por algunos fragmentos desprendidos de los costados de la ranura.

Investigando la explicación de estas fisuras, han llegado los astrónomos á admitir dos causas posibles: una, la expansión de la materia del interior, á la cual hemos atribuído anteriormente la formación de las bandas luminosas; otra, la concentración de la corteza, producida por el enfriamiento, por más que es muy posible que ambas causas, en diversas ocasiones, hayan obrado simultáneamente.

Los astrónomos que primero se ocuparon del estudio de las ranuras creye

ron ver en estos prolongados surcos los lechos de antiguos ríos desecados; Fontenelle, en sus *Conversaciones sobre la pluralidad de los mundos*, dice que Domingo Cassini había descubierto en la Luna «alguna cosa que se dividía en dos se reunía en seguida, é iba á perderse en una especie de pozo; podemos lisonjearnos, agrega, de que se trata de un río.» En 1821 el profesor Gruithuysen, de Munich, creyó descubrir, en una región próxima al centro de la Luna, una serie de baluartes paralelos, cortados transversalmente por otros; todo esto le pareció el resultado de los trabajos de fortificación ejecutados por los habitantes de la Luna.

Las observaciones posteriores de Lohrman y de Beer y Maedler han proba-



Fig. 152. — Ranuras de la región central en las inmediaciones del Sinus Medii (Copiado del Mapa selenográfico de Beer y Maedler.)

do que la región en que Gruithuysen creyó distinguir los trabajos de los arquitectos selenitas, tan sólo se hallaba cubierta de formaciones naturales, análogas á las que se encuentran en las demás partes de nuestro satélite.

Generalmente hablando, podemos decir que los detalles de la superficie lunar están desprovistos de color; á la simple vista común, parece la Luna dotada de una blancura argentina deslumbradora; otros individuos, más prácticos en juzgar de colores, la representan con un ligero tinte amarillento; Herschel II, durante su permanencia en el Cabo de Buena Esperanza, pudo en varias ocasiones comparar el brillo de la Luna con el de la piedra arenisca de la Montaña de la Mesa, cuando la Luna se ponía tras ella y ambos cuerpos se hallaban iluminados con igual inclinación por los rayos solares; observó diversas veces

«que apenas se percibía diferencia alguna entre el color de la piedra del monte y el de nuestro satélite, hasta el punto de que, cuando ambos cuerpos se hallaban en contacto aparente, era muy difícil separarlos y determinar los límites de cada uno.»

Aunque sus observaciones se refieren principalmente al brillo ó poder luminoso, apenas puede dudarse de la gran semejanza que existe en el tono ó color de los cuerpos comparados, pues cualquiera diferencia en el tinte hubiera impedido que el grande astrónomo estampase las palabras «apenas se percibía diferencia alguna.» A través del telescopio se ve también que el tinte general es blanco amarillento, con escasas excepciones, en los puntos llamados mares; el de las Crisis, la Serenidad y de los Humores presentan un ligero color verdoso; el pantano de los Sueños y el área circular de Lichtenberg ofrecen un tinte rojizo. Estos tonos son, por lo general, debilísimos y se atribuyen por varios astrónomos á un efecto de contraste, más bien que á una coloración propia de la superficie. Otros astrónomos han sugerido que las vastas llanuras deben estar cubiertas de vegetación y hallarse, por lo tanto, teñidas por el color de la localidad; pero esta hipótesis es aún menos admisible, á causa de los argumentos que vamos á presentar á continuación contra la posibilidad de que exista vida vegetal en nuestro satélite.

Más racional es considerar las tintas como debidas al color actual de la materia (lava ó alguna otra substancia mineral, fluida en cierto estado anterior) que cubrió estas inmensas superficies.

Considerando que la acción volcánica ha ejercido un influjo tan marcado en la estructura y carácter de la superficie de la Luna, es perfectamente lógico suponer, en definitiva, que no sólo las substancias de la superficie son de una naturaleza afín á la de las porciones volcánicas de la Tierra, sino también los tintes y colores característicos de los productos plutónicos de nuestro globo encuentran su representación en la Luna.

Los geólogos que han visitado el interior y las inmediaciones de los volcanes terrestres, poco después de una erupción y antes de que los agentes atmosféricos hayan ejercido su influencia destructora, se han sorprendido al observar los colores de las substancias eruptivas y los variados tintes brillantes impresos á estos cuerpos por los depósitos de vapores sublimados de metales y minerales. Ahora bien, si la analogía puede guiarnos con seguridad y nos permite inferir el aspecto de una cosa inaccesible, por el que presenta otra que conocemos como de igual naturaleza y que hemos visto, podemos en justicia deducir que si la Luna se trajese á una distancia tan pequeña de nosotros como para mostrar los diminutos caracteres de su superficie, podríamos contemplar los mismos colores variados y brillantes dentro y en torno de los cráteres, de igual manera que admiramos los de los volcanes terrestres; y según todas las probabilidades, las materias coloreadas de los volcanes lunares deben presentar un aspecto más lúcido y brillante que las de la Tierra, por razón de la falta de elementos atmosféricos que tan rápidamente tienden á empañar la brillantez de las superficies de color expuestas á su influjo.

Sin embargo, situados como estamos á gran distancia de nuestro satélite, no nos es posible distinguir los colores particulares de las masas pequeñas; pero es

muy probable, como decimos, que la coloración de las vastas extensiones que se conocen con el nombre de mares, se deba á las substancias volcánicas del núcleo líquido de la Luna.

En cambio, si no percibimos diversidad de colores en la superficie del satélite, no ocurre lo mismo respecto del brillo desigual ó poder reflector variable de sus diversas regiones y aun accidentes.

Este fenómeno no habrá dejado de observarse por algunos de nuestros lectores, por escasa que haya sido su afición al estudio de la fisiografía lunar, á causa del parecido que ofrece nuestro satélite con una cara humana, debido al reparto y disposición, puramente casual, de ciertas porciones grandes y pequeñas de materia, dotadas respectivamente de mayor ó menor poder de reflexión; y como las partes todas de la Luna, vistas por un observador terrestre, puede decirse que reciben del Sol una misma cantidad de luz, es claro que las regiones que aparentemente parecen más brillantes ó más opacas deben este efecto á la distinta naturaleza de la superficie, en lo respectivo á su poder reflector.

Cuando hacemos uso del telescopio y analizamos el disco entero de la Luna, aun con un ocular de escasa fuerza, aumenta en proporción considerable el número de las porciones desigualmente iluminadas, ó por mejor decir, de las partes oscuras y brillantes, presentándose algunas de un color gris muy sombrío; otras de un blanco deslumbrador, y entre estos dos límites, todas las gradaciones imaginables; con mayor comodidad, y de un modo más acentuado, se perciben estos diversos tonos y coloraciones colocando en el anteojo un cristal ahumado débil, que proteja la vista contra el exagerado y argentino resplandor del astro que, por su intensidad misma, vela y desvanece infinitos detalles. En estas circunstancias, las variaciones de la luz son, por decirlo así, tan caprichosas, que es imposible tratar de reproducir su aspecto, ni con el lápiz, ni con el pincel.

Podemos, no obstante, formarnos una idea siquiera imperfecta de este carácter de la superficie de nuestro satélite, examinando el grabado que representa la Luna llena, que va inserto en la pág. 189, y también la reproducción de una fotografía de Warren de la Rue (pág. 241); es muy notable la extensa región que rodea á Tycho, por su irregularidad y por su extraordinario poder reflector; lo son también los terrenos inmediatos á Copérnico y Keplero por las manchas brillantes que presentan y que por su forma y aspectos parecen *chaponazos* de luz, como diría un artillero; tan extraordinario es su brillo, que durante el plenilunio se perciben fácilmente á la simple vista; más brillante aún, pero más difícil de observar, á causa de su menor magnitud, es el cráter Aristarco, el cual resplandece con tan singular magnificencia, que induce á creer que su interior pueda estar compuesto de alguna substancia vítrea, capaz de reflexión especular; la naturaleza eminentemente reflectora de este cráter ha hecho que se le haya percibido en el hemisferio oscuro de la Luna, esto es, cuando no era herida, esta parte al menos, por los rayos solares, y tan sólo podía ser iluminada por la luz refleja de la Tierra; en estas ocasiones aparece tan brillante, que á veces se le ha tomado por un volcán en ignición, lo que ha dado origen á un gran número de teorías diversas sobre la constitución de nuestro satélite, basadas, por lo común, en una interpretación exagerada de los hechos observados.

Son también notables, y por más de un concepto, las regiones superficiales

dotadas de escaso poder de reflexión; entre otras citaremos, por lo curioso de sus detalles, el interior del cráter Platón, que es uno de los puntos más negros, por no decir el más negro, de los que se encuentran en el hemisferio de la Luna visible desde nuestro globo. Para hacer más fácil el estudio y comparación de las gradaciones luminosas, formaron Schroeter y Lohrman una escala que comprende todas las intensidades, principiando por la más oscura, á la que dieron el número 1; el 2 y el 3 indicaban las tintas grises profundas; el 4 y el 5 las más claras, el 6 y el 7 las blancas y del 8 al 10 el blanco brillante.

Las manchas Grimaldi y Riccioli pertenecen á la segunda serie número 1; Platón se encuentra entre el 1 y el 2; los mares oscilan, por lo general, del 2 al 3; las porciones montañosas más brillantes corresponden á los grados 4, 5 y 6; al 9, las bandas luminosas, algunos baluartes de cráteres y picos brillantes, y al número 10, Aristarco, un punto de Werner, quizás Proclo y algunos otros picos, notables sólo en la época del plenilunio.

En las reproducciones ó imágenes fotográficas hay siempre cierta exageración entre las relaciones de la luz y la sombra; las partes oscuras del disco aparecen mucho más profundas que á la inspección visual sencilla ó auxiliada con los instrumentos; la verdadera discrepancia puede consistir en que nuestra vista no es capaz de percibir la diferencia que existe entre las regiones más brillantes, por insuficiencia del aparato visual, y también por alguna propiedad característica de los rayos actínicos sobre la placa sensible daguerriana.

El estudio del brillo diverso, ó distinto poder de reflexión de los varios parajes y manchas de la superficie del disco de la Luna, nos induce á presentar algunas consideraciones sobre la antigüedad relativa de sus caracteres y accidentes topográficos, pues no es posible mirar estas variaciones con atención, sin adquirir el convencimiento de que existe cierto orden cronológico en su desarrollo; en primer lugar, tenemos que admitir que las partes más brillantes se han formado en la última época de la vida lunar; así porque aparecen como accidentes más nuevos, como también porque se hallan sobrepuestos á los detalles oscuros. Las partes elevadas de la corteza son más brillantes que los mares y otras porciones; y se comprende que las primeras son más modernas que las segundas, sobre las cuales aparecen sobrepuestas y por cuyas grietas y fisuras manifiestan haber salido. Las vastas llanuras sombrías muestran en muchos casos algunos puntos brillantes aislados y cráteres pequeños, cuya formación es, sin duda alguna, posterior á la de los terrenos en que descansan.

Ya que hemos hablado de la edad relativa de los diversos accidentes lunares, debemos hacer notar que existen pruebas de las varias épocas de formación de algunas clases particulares de detalles, sin relación de ninguna especie con el brillo ó tersura de la materia; como regla general, diremos que los grandes cráteres son más antiguos que los pequeños.

Esto lo demuestra el que nunca se ven los cráteres de grandes dimensiones sobrepuestos á los más pequeños; los de tamaño casi igual, no obstante, parecen situados unos sobre otros, como si se hubiesen producido por varias erupciones de análoga intensidad, originadas en un foco común; en la región de Tycho (figura 153) puede estudiarse el fenómeno de la superposición de los circos y cráteres, pues son innumerables los ejemplos que ofrece de este género de formación,

viéndose con toda evidencia que los cráteres pequeños son como los parásitos de los de mayores dimensiones, y que, por lo tanto, estos últimos son de origen an-

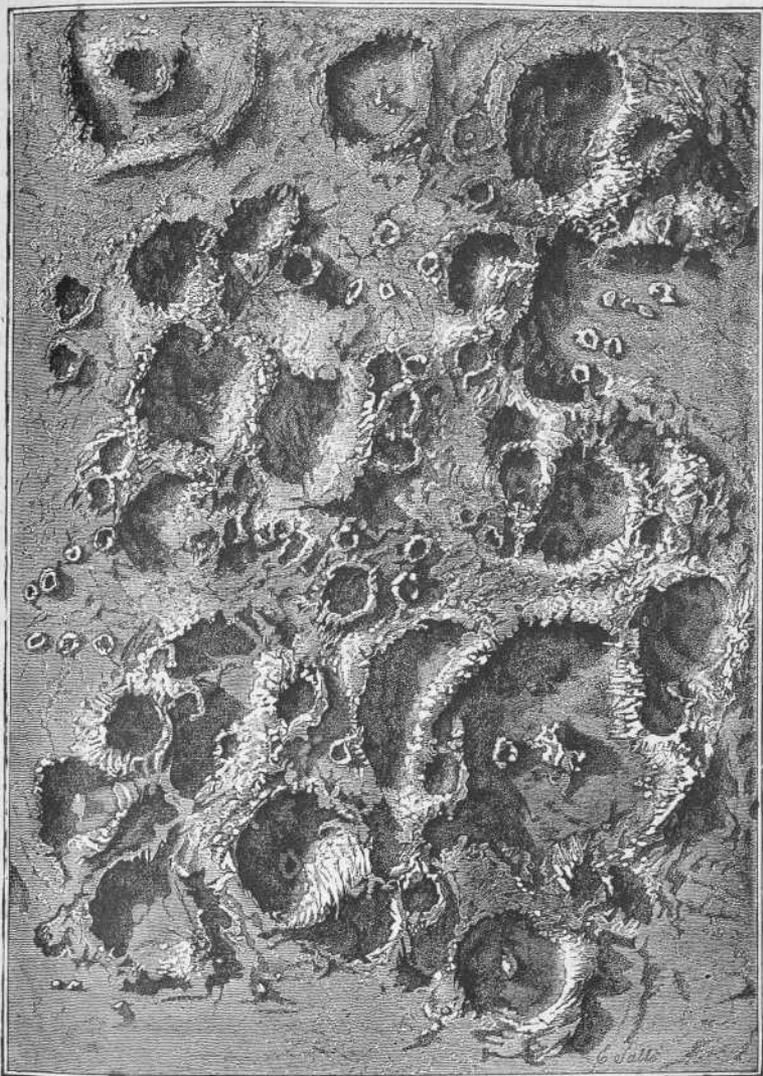


Fig. 153. — Cráteres lunares de las regiones próximas á Tycho

terior; en muchos casos se ve un cráter reducido, implantado en el baluarte ó escarpa de un cráter grande, y también que el cráter pequeño contiene en su respectivo baluarte otro cráter aún más diminuto; á veces se distinguen hasta

cuatro cráteres situados del modo que indicamos: con estos ejemplos nos proponemos demostrar de un modo general que los cráteres disminuyen de tamaño á medida que decrece la fuerza volcánica de la Luna; que los de mayores dimensiones se produjeron en las primeras etapas, que hubieron de ser, sin duda alguna, las más violentas; y que los más pequeños deben su origen á las últimas sacudidas y convulsiones, debilitadas por la acción del tiempo, por las pérdidas anteriores sufridas y, probablemente también, por el mayor espesor de la costra lunar solidificada.

Otro hecho general, del mismo orden cronológico, nos demuestra que las cordilleras nunca se mezclan ni confunden con las formaciones de los cráteres, así que en ningún caso se ve que una cadena de montañas penetre á través de un cráter, ni que lo divida por mitad; pero, por otra parte, se observa que existen cráteres formados en las mismas sierras, lo cual nos obliga á aceptar que los circos son de formación posterior al levantamiento de los sistemas generales de montañas, y por lo tanto, que los montes son, por lo común, las formaciones más antiguas.

Aceptando que la última materia lanzada por las fuerzas internas de la Luna sea la más brillante, tenemos que colocar las bandas luminosas entre los accidentes de época más moderna; en todo caso, y sea de ello lo que quiera, es cierto, sin duda, que las ranuras, cuya íntima relación con las líneas brillantes hemos tratado de demostrar en las páginas que anteceden, son relativamente de formación moderna, y aun casi nos atreveríamos á afirmar que son los accidentes más nuevos de todos los que cubren el suelo lunar; la prueba que podemos presentar en apoyo de esta opinión, se encuentra en que muchas veces se ven las ranuras cruzando pequeños cráteres que, por la disposición en que los cortan, debieron de ocupar este punto mucho antes de que se verificase el resquebrajamiento de la corteza; además, este hecho es conforme con la hipótesis del paso ó transición de la Luna de un estado fluido á un cuerpo sólido, en cuya teoría es indispensable que la rotura radial de la superficie haya sido el último fenómeno producido por la contracción al enfriarse el globo por completo.

Las observaciones precedentes nos llevan á considerar un asunto delicadísimo: ¿se verifican en la actualidad algunos cambios ó modificaciones sensibles en la superficie de nuestro satélite? ¿Existe aún en su interior alguna chispa de fuerza eruptiva, ó ha cesado por completo su actividad volcánica?

Trataremos de este asunto, considerándolo únicamente desde el punto de vista de las observaciones. Podemos asegurar con toda confianza que ningún objeto, ningún detalle que haya sido visto por los selenógrafos que inauguraron este género de estudios astronómicos hace más de 200 años, ha sufrido la menor alteración desde aquella fecha, según demuestra el estudio de sus mapas y cartas; y cuando pasamos de los caracteres más acentuados á los detalles y perfiles delicados, nos encontramos materialmente sin pruebas ni testimonios para poder formular un juicio algo acertado, pues recordará el lector lo que tenemos dicho sobre la grosera construcción de los mapas de la Luna levantados por Galileo, Scheiner y aun Hevelio.

La única carta que existe que merezca alguna confianza, al menos en cuanto á los objetos pequeños de mayor tamaño, es la de Beer y de Maedler, y sin embar-

go, á pesar de la admiración y respeto que inspira este trabajo, no podemos apoyarnos en él para resolver ninguna duda que pueda suscitarse sobre los cambios de forma ó aspecto de los accidentes de nuestro satélite, á causa del sistema convencional adoptado para representar los objetos, que más que retratados, se encuentran sólo delineados y con sus posiciones selenográficas perfectamente determinadas, pero que nada nos indican acerca del aspecto y semejanza que las partes copiadas muestran realmente en la Luna; esta dificultad habría de presentarse siempre que se discutiese sobre algún cambio de la superficie lunar basándose en el mapa de Beer y Maedler, en el cual, como decimos, no se representa el aspecto físico de la Luna, sino el geográfico, por decirlo así, si bien á esta objeción puede responderse que hasta ahora ningún astrónomo se ha atrevido á señalar una marcada divergencia entre las configuraciones y detalles del mapa y el estado presente de la Luna.

A falta de mapas de confianza, tenemos que referirnos en este asunto á las observaciones y recuerdos, puramente personales, de determinados astrónomos familiarizados durante largo tiempo con el aspecto de los detalles lunares. Carpenter y Nasmyth, que han observado con la mayor escrupulosidad los menores accidentes de nuestro satélite durante un período de treinta años, declaran francamente que jamás han notado la menor alteración en la superficie lunar, ni en los grandes cráteres, ni en las más pequeñas cavidades; la mayor parte de las investigaciones de estos astrónomos se llevaron á buen término con magníficos instrumentos, entre otros, con un telescopio de 48 centímetros de abertura; hoy día puede asegurarse que, en general, se muestran los astrónomos muy cautos en acoger las noticias que de vez en cuando circulan sobre modificaciones del suelo de la Luna.

Años atrás se dijo que el pequeño y brillante cráter de Linneo, según se deducía de gran número de observaciones de toda confianza, estaba sufriendo una transformación completa en su figura y dimensiones, y tan rápida, que casi diariamente se notaba; pero nada de esto era exacto, y las pretendidas modificaciones eran causadas por un efecto variable de iluminación, combinado con la libración. Sin embargo, no parece que podamos, con fundamento, negar en absoluto que este cráter haya sufrido alguna modificación, puesto que quien dió la voz de alarma en este asunto fué Schmidt, director del Observatorio de Atenas y uno de los primeros selenógrafos del presente siglo; su carta de la Luna es un monumento admirable, en cuya construcción invirtió Schmidt casi toda su vida; los apuntes y dibujos que forman la base ó croquis del mapa constituyen por sí solos una regular biblioteca; así pues, las afirmaciones de un astrónomo tan competente en este asunto merecen el mayor respeto. Schmidt afirmó que el cráter de Linneo presentaba en 1866 un aspecto señaladamente distinto del que se le venía observando desde 1844, por cuanto desde esta época se le distinguía fácilmente como un cráter muy profundo, y en octubre de 1866, y desde entonces acá, sólo se presenta como una mancha blanca, de abertura estrechísima y muy difícil de columbrar. Schmidt es uno de los pocos observadores que por su larga práctica en los estudios selenográficos puede hablar con seguridad de esta clase de asuntos; pero aun así, debemos de tener presente que este es el único ejemplo que se registra en los anales de la Astronomía de cambios ocurridos en la

topografía de nuestro satélite. El laborioso director del Observatorio de Atenas sostuvo rotundamente que la modificación del cráter de Linneo era positiva, y que no puede atribuirse á una ilusión óptica producida por la variable iluminación del objeto; esta fué también la opinión de Webb, distinguidísimo astrónomo inglés, que rechazó abiertamente la suposición de que en la superficie de la Luna tengan lugar cambios notables; aceptando, sin embargo, por revelárselo sus propias observaciones, que, aun eliminando los efectos debidos á la distinta iluminación de los objetos en varias situaciones, se perciben algunas ligerísimas variaciones en la topografía lunar, que parecen indicar que la acción eruptiva de nuestro satélite no ha cesado por completo, por más que sus manifestaciones sean hoy día de extensión limitadísima.

Los notables progresos de la fotografía astronómica y el grado de perfección á que ha llegado este arte en nuestros días, como prueban las magníficas reproducciones del Observatorio de París, contribuirán, sin duda alguna, á la solución del enigma, á la que pueden consagrarse muchas personas, pues la distribución de las imágenes fotográficas es casi ilimitada, al paso que el examen directo de la Luna con el telescopio está reservado á contados individuos. La comparación de las reproducciones fotográficas hechas con largos intervalos de tiempo, permitirá determinar de una vez, y con testimonios irrecusables, si en nuestro satélite ocurren ó no modificaciones importantes, si bien es opinión general de los astrónomos que con más asiduidad se han dedicado al estudio de la Luna, que nuestro satélite es un astro muerto, que ha llegado á su último período, geológicamente considerado, y que el más reciente de sus detalles superficiales cuenta una antigüedad inmensamente mayor que las más remotas formaciones geológicas de nuestro globo.

La existencia de seres animados, ó al menos de substancias orgánicas en los mundos planetarios, ha preocupado en todas épocas á los hombres dotados de espíritu investigador; un interés inmenso, profundo, va unido á este problema examinado y discutido tantas veces y con criterios tan distintos, como distinciones y diferencias se han manifestado en los varios períodos del desenvolvimiento científico. A cada progreso importante de la astronomía, aparecía de nuevo el problema de la habitabilidad de los mundos celestes; cualquier descubrimiento notable comunicaba una faz nueva al asunto, obligando á considerarlo desde diverso punto de vista; y tal extensión ha tomado este género de estudios, que bien puede decirse que existe una literatura particular y considerable, en la cual se trata exclusivamente de la pluralidad de los mundos; y desde luego se comprende que la Luna, por su proximidad á la Tierra, ha tenido que jugar un papel importantísimo en las especulaciones de los que se complacen en poblar hasta los cuerpos más desemejantes al globo terrestre; por nuestra parte, vamos á acrecentar el caudal de esta clase de literatura, recopilando lo más interesante y curioso que se ha dicho sobre la habitabilidad de nuestro satélite, haciendo caso omiso de muchas teorías y especulaciones que se han emitido, concretándonos á exponer tan sólo dos ó tres argumentos poderosos y contrarios á la posibilidad de que en la Luna pueden existir animales ni vegetales.

Todos sabemos cuáles son las condiciones esenciales para la vida en la Tierra, y en este concepto no tenemos que ampliar más nuestras investigaciones,

porque si llegamos á admitir que la vida pueda manifestarse y ser posible en condiciones por completo desconocidas para nosotros, y esencialmente distinta de la que vemos en la superficie de nuestro planeta, holgaría cuanto dijéramos sobre este particular; así, pues, debemos proceder con método verdaderamente científico, analizando las conjeturas menos atrevidas, guardándonos mucho de aceptar las exageradas y extravagantes.

La cuestión principal puede enunciarse así: ¿es posible que existan en la Luna algunos seres vivos, análogos á algunos de los tipos que viven en nuestro globo?

A esta pregunta, á nuestro entender, sólo es posible contestar negativamente. Las formas más rudimentarias de la vida no pueden existir sin aire, sin humedad y sin cierto grado de calor; es verdad, como algunos experimentos recientes parecen demostrarlo, que los gérmenes orgánicos conservan sus propiedades vitales, sin necesidad de que concurren todas las circunstancias anteriores, y aun sometiéndolos á un frío excesivo, ó á un grado considerable de calor, en cuyo caso sería posible que hubiese en la Luna ciertos gérmenes de vida rudimentarios; pero esto no tiene relación alguna con los mismos organismos vivos.

En las páginas que anteceden hemos tratado de demostrar, apoyándonos en las mejores observaciones y en los cálculos más exactos, que la cantidad y consistencia del aire que podemos suponer existente en la Luna, es comparable tan sólo á la exigua porción de gas que queda en la campana de la mejor máquina neumática después de hecho el vacío. Y en cuanto á la humedad, hemos visto también que, según se deduce de un gran número de observaciones delicadas y fundamentales, no existe en la Luna el menor vestigio de vapor de agua; todo lo más que es posible conceder es que en la Luna haya algunos ejemplares de las formas más sencillas de vegetación, susceptibles de crecimiento y desarrollo en una mínima cantidad de aire y de humedad, que por su exigüidad misma escape á nuestra observación; pero, aun en este caso, tropezamos con la dificultad de la temperatura, puesto que no nos es dado concebir cómo pudiera vivir una planta con un frío inmensamente más intenso que el de los más crudos inviernos de las regiones hiperbóreas, y cómo habría de soportar en el corto espacio de 14 días un calor tan terrible como para hacer fundir el estaño y el bismuto, recorriendo en tan breve período de tiempo una extensión termométrica de más de 400 grados de la escala centígrada.

Las formas ó ejemplares superiores de vegetación, de vida más compleja y delicada, claro es que no podrán existir donde las plantas inferiores perezcan; y en lo respectivo á la existencia de la vida animal, en cualquiera forma ó condición, sobre la superficie de nuestro satélite, las mismas razones que hemos aducido con referencia á la imposibilidad de que haya en la Luna vida vegetal, podemos aplicar, y con mayor fundamento, para combatir la existencia de la vida animal; esta última, como sabemos, no puede existir en el vacío, ni bajo las terribles condiciones térmicas que hemos enunciado.

En cuanto al hombre, las ascensiones aerostáticas nos enseñan que la vida humana se extingue sin que el aire haya de enrarecerse demasiado, pues basta para ello que su peso equivalga al de una columna de mercurio de 30 centíme-

tros de altura; si en estas condiciones perdieron la vida los malogrados aeronautas franceses Sivel y Crocè-Spinelli, ¿cómo es posible suponer siquiera que el hombre pueda existir en un medio tan enrarecido que sólo equilibre la altura de un milímetro de la columna barométrica? Y sin embargo, sabemos, porque nos lo demuestran experimentos delicadísimos, que la atmósfera lunar, dado caso que exista, ha de ser todavía mucho más rara y tenue. Podemos, pues, en vista de todas estas condiciones negativas, anticipar que no es posible que en la Luna existan, no ya seres de cierta organización superior y comparables, por tanto, al hombre y á los animales, pero ni aun siquiera los más rudimentarios esbozos de la vida vegetal; nuestro satélite, en consecuencia, es un mundo estéril y desierto.

Después de esta disquisición sobre la no habitabilidad de la Luna, parecerá absurdo que intentemos describir las escenas y paisajes lunares y otros fenómenos interesantes, tales y como se ofrecerían á la vista de un observador terrestre colocado en su superficie. Pero ciñéndonos estrictamente á lo que la ciencia revela, podemos, sin riesgo, intentar este viaje imaginario y ofrecer al lector un cuadro fiel de los fenómenos que presenciaria en la superficie de nuestro satélite, durante un día y una noche lunares, esto es, durante una lunación entera, completando así las explicaciones y conceptos de los párrafos anteriores. Y á la objeción que se nos pudiera hacer de que vamos á describir escenas y panoramas nunca vistos por ningún hombre, contestaremos que sólo nos hemos de referir á las cosas que existen en la actualidad y que están demostradas por la observación; pues si bien es imposible para un habitante de la Tierra verificar este fantástico viaje, un observador hábil puede, empero, armado con su telescopio, estudiar el aspecto del disco lunar noche tras noche, y percibir cómo sale el Sol sobre un horizonte determinado de la Luna, y los efectos diversos á que su presencia da lugar hasta el momento de su ocaso; y el astrónomo reflexivo, de tal manera llega á comprender los fenómenos que observa, tan familiares se le hacen, que insensiblemente se identifica con el objeto de sus estudios, y casi pudiéramos decir que, en ocasiones, se considera él mismo como un verdadero selenita. Sentado ante su poderoso telescopio, en el silencio de la noche, cuando cesan los ruidos terrestres y la naturaleza entera parece dormida, extraño por un momento al influjo de las preocupaciones mundanas, y fijos, no ya los ojos de la cara, sino los del cerebro, en los amplificadas detalles de tal accidente ó cráter maravilloso, más se cree en la meseta de algún elevado pico lunar observando el paisaje lejano, que enclavado en el suelo de nuestra madre tierra; y en estas circunstancias, experimenta el espíritu una tendencia irresistible á pasar de lo que en realidad *se ve*, á lo que *no se ve*. Cuando los ojos materiales son insuficientes, viene en su ayuda la perspicacia de la razón y de la analogía.

Intentemos, pues, describir las extrañas consecuencias que la posición y condiciones de la Luna producen en el aspecto de sus paisajes en el curso de un día y de una noche lunares.

El día en la Luna es de larguísima duración. Desde que el Sol asoma su faz sobre un horizonte lunar (inmediato al ecuador, pues cerca de los polos varían ligeramente las condiciones), hasta que se oculta por el lado opuesto, transcurre un período de 304 horas, y de 608 desde un orto hasta el siguiente; las conse-

cuencias de esta lenta marcha del luminar del día principian con su aparición. El crepúsculo terrestre, con sus tonos variados y su dulce y melancólica belleza, no existe en la Luna; para esto sería preciso que nuestro satélite estuviera dotado de una atmósfera capaz de reflejar los rayos luminosos del Sol cuando el astro se encontrase aún bajo el horizonte; tan sólo los débiles resplandores de la luz zodiacal pueden anunciar la venida del día; el Sol aparece súbitamente sobre el negro cielo, iluminando de una vez, y sin transición de la noche al día, la cima de los más elevados montes con claridad deslumbradora, mientras las laderas permanecen en las tinieblas más profundas. Hemos dicho que no hay transición

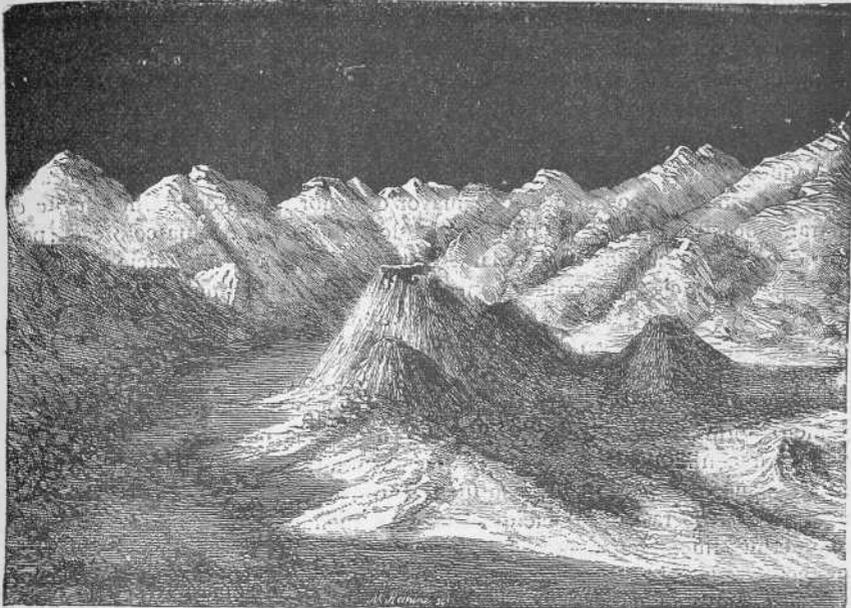


Fig. 154. - Iluminación paulatina de los montes y valles lunares

de la noche al día, pero la lentitud del movimiento del Sol origina un fenómeno que podemos comparar á nuestros crepúsculos, si bien por distinta causa producido.

En la Tierra, en las latitudes centrales, el tiempo que invierte el Sol, por término medio, desde que lanza el primer rayo luminoso de su limbo superior hasta que se descubre el disco por completo viene á ser de $2^m 15$; en la Luna, no obstante, este espacio llega á ser casi de una hora, y por lo tanto, durante los primeros minutos, tan sólo se percibirá un pequeño segmento del disco sobre el límite del horizonte, cuyo poder luminoso es precisamente muy débil, y de esta suerte se modifica proporcionalmente el grado de iluminación de las regiones elevadas del paisaje, de un modo análogo á lo que se observa en la Tierra cuando aparece el primer rayo de luz, en el momento de finalizar un eclipse total de Sol.

Esta iluminación gradual constituye la única clase de aurora de que podría disfrutar un habitante de la Luna, y, con todo eso, sería de cortísima duración; pues cuando en el transcurso de media hora se haya mostrado sobre el horizonte la mitad del disco del Sol, su luz ha de parecer tan brillante y esplendorosa como si todo el astro fuese visible.

En la Luna, pues, no es posible disfrutar del espectáculo encantador de la alborada, con sus rojizos y nacarados matices; el color carmín que reviste el cielo durante el crepúsculo matutino se debe á la absorción por la atmósfera de ciertos y determinados rayos de la luz policromática del Sol; los componentes azules y violetas son absorbidos por los vapores acuosos de la envoltura gaseosa del globo, que únicamente dejan pasar los rayos rojos, y como en nuestro satélite no hay atmósfera, no puede tener lugar esta separación; si así sucediera, un observador que desde la Tierra contemplase las regiones superiores de la Luna iluminadas por el Sol naciente, las percibiría de color rojizo, lo cual dista mucho de ser cierto, pues todos los accidentes lunares, por pequeños y tenues que sean y aunque iluminados por una pequeña porción del disco del Sol, se ven siempre purísimamente blancos, si bien con mayor ó menor intensidad. Únicamente en las raras ocasiones de los eclipses es cuando se observa la Luna coloreada; pero esto depende de que los rayos solares, antes de llegar á la superficie de nuestro satélite, sufren ciertas modificaciones á su paso por la atmósfera de la Tierra.

Las mayores bellezas que podemos contemplar en los paisajes terrestres se deben al influjo poderoso de la atmósfera, que produce múltiples y variadas gradaciones en la fuerza de la luz solar; en la Luna, y á causa precisamente de que carece de atmósfera, presentan las sombras una misma intensidad, tanto en los primeros términos cuanto en los últimos; en la Luna no hay perspectiva aérea, y sólo parecen lejanos los objetos porque disminuye su tamaño angular; el Sol brilla en su superficie con toda su fuerza intrínseca, pues nada hay que temple el ardor de sus rayos, pareciendo situado á menor distancia; para figurarnos, aunque muy imperfectamente, el aspecto del Sol en la Luna, podemos suponer que contemplamos una luz eléctrica gigantesca, colocada á algunos centímetros de nuestros ojos. El brillo del Sol ha de parecer aún más fantástico, porque todo el cielo á su alrededor es de un negro profundo; el color azul del cielo sabemos que se debe á la propiedad que tiene nuestra atmósfera de reflejar los rayos azules y violetas de la luz solar, y careciendo la Luna de atmósfera, carece asimismo de luz difusa, y por lo tanto debe el cielo parecer más negro y obscuro todavía que en la Tierra en las noches sin luna; esta negrura persiste cuando el Sol, en mitad de su carrera, ilumina por completo un hemisferio del satélite.

Un selenita que pudiera soportar el brillo extraordinario de la luz solar, ó que al menos eclipsase el disco del Sol por algún medio artificial, percibiría los apéndices solares que conocemos con los nombres de corona, luz zodiacal y protuberancias rojas; y en todo caso, si no podía distinguirlos cuando el Sol estuviese en mitad de su carrera, ciertamente veríalos con gran perfección cuando el luminar del día estuviese bajo el horizonte, momentos antes de su salida ó muy poco después de su postura.

A pesar de la presencia del Sol, se ven brillar las estrellas y planetas en el cielo lunar con más intensidad que en las más puras y claras noches terrestres;

las constelaciones presentan las mismas configuraciones, aunque parecen situadas de un modo diferente respecto del polo celeste en torno del cual giran, pues el eje de rotación de la Luna no se dirige al mismo punto del cielo que el de la Tierra, sino hacia cierto y determinado lugar de la constelación del Dragón.

Las estrellas no centellearán ni mudarán de color, como vistas desde la Tierra, puesto que siendo la escintilación un fenómeno de origen atmosférico, no puede tener lugar en la Luna, que carece de atmósfera, y por la misma causa conservarán las estrellas igual brillo é igual intensidad en el cenit que cerca del horizonte, por no haber capa ni materia alguna absorbente que pueda influir ni en la marcha, ni en la fuerza luminosa de los rayos. Por esto mismo también, se verán los planetas y las estrellas principales, aun cuando se encuentren muy cerca del Sol; el planeta Mercurio, por ejemplo, tan difícil de columbrar por los astrónomos terrícolas, ha de verse constantemente sobre el horizonte de nuestro satélite durante el día lunar, demostrando de este modo su íntima conexión con el luminar del día, pues apenas si de él se separa algunos grados por el Este y por el Oeste. Venus también es visible, casi siempre, aunque sus excursiones á ambos lados del Sol ofrecen mayor amplitud.

La luz zodiacal, que tan imperfectamente se percibe en Europa, y que aun en los países intertropicales sólo se distingue después de la postura del Sol, ha de verse en la Luna, acompañándolo constantemente.

Los demás planetas se presentarán, poco más ó menos, bajo el mismo aspecto que ofrecen vistos desde la Tierra, con la particularidad, no obstante, de que no siendo jamás ofuscados por la luz del día, puede seguirse cómoda y fácilmente su curso elíptico, á través de las constelaciones, sin interrupción de ninguna especie.

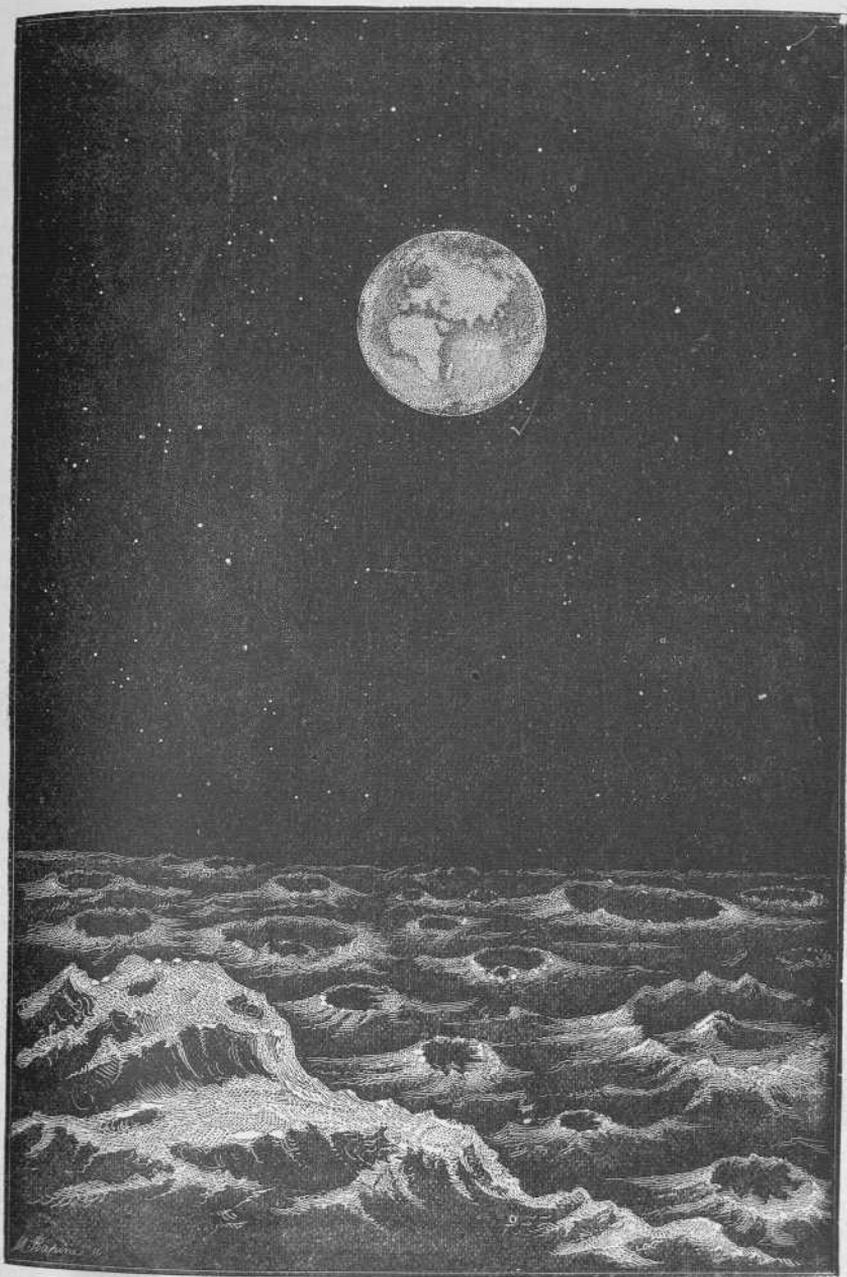
Un planeta, sin embargo, de los varios que adornan el cielo del hemisferio visible de nuestro satélite, exige, por su importancia é interés extraordinario, que lo describamos con mayor atención. Nos referimos á la Tierra. Casi en la mitad del cuerpo de la Luna, esto es, en la parte que jamás se distingue desde la Tierra, es nuestro globo eternamente invisible; pero en la otra mitad, ó sea en la que siempre mira hacia la Tierra, se presenta nuestro planeta como un cuerpo fijo é inmóvil del cielo.

Para el espectador lunar cuya situación le permita observar el contorno completo de nuestro globo, aparecerá éste como una luna, pero más bella y grandiosa que la nuestra. Su diámetro vendría á ser como cuatro veces mayor que el que presenta nuestro satélite, según lo vemos desde este nuestro globo, y la superficie de su disco, unas trece veces mayor, ofrecería las mismas fases que la Luna presenta á nuestra vista, en el espacio de un día lunar ó mes terrestre y durante el ciclo de las fases; y puesto que en él han de invertirse 29 días de los nuestros, el movimiento de rotación y los accidentes y configuraciones de su superficie han de ofrecerse á la vista en iguales y sucesivos períodos de tiempo. Pero la mayor belleza de esta espléndida luna ha de observarse durante la noche lunar, cuando nuestro globo, plenamente iluminado, se presenta como Tierra llena (lámina adjunta) al hallarse nuestro satélite en la fase opuesta, ó Luna nueva; al aproximarse el día, se desvanece el esplendor de la Tierra, cuyo disco lentamente pasa á ser dicótomo, hasta que á la salida del Sol se encuentra exac-

tamente iluminado por mitad. Durante el largo período anterior, al mediodía, se presenta como una media luna, cada vez más estrecha, hasta que llega un momento en que la Tierra se encuentra casi en línea recta con el Sol y nuestro satélite, siendo invisible para los selenitas, á menos de que puedan percibir una tenue y ligera aureola luminosa en torno del limbo inferior ó superior, según que el Sol parezca hallarse hacia una ú otra región. En la tarde lunar se percibe una media luna, formada por la parte iluminada de la Tierra, que poco á poco aumenta de anchura hasta cubrir la mitad del disco á la postura del Sol en la Luna, y el disco pleno al ser media noche lunar.

En su curso diario, pasa el Sol á distancias variables de la inmóvil Tierra, unas veces por encima y por debajo otras. Claro es que, en algunos casos, ha de pasar precisamente por detrás de ella, y entonces el espectador lunar disfrutará del espectáculo sublime de un eclipse total de Sol, en circunstancias tales, que hacen que el fenómeno sea aún más hermoso y admirable que sus análogos vistos en la Tierra, á causa de la corta duración de la totalidad, de 7 minutos cuando más; en cambio, para un espectador lunar, aparece la Tierra cuatro veces mayor que el diámetro del Sol, y como tanto el luminar del día cuanto nuestro globo se encuentran relativamente fijos y parados en la inmensa y negra bóveda de los cielos, el majestuoso espectáculo viene á durar cierto número de horas. Durante el paso del disco solar por detrás del cuerpo obscuro de la Tierra, ha de observarse una serie encantadora de magníficos fenómenos luminosos, debidos á la refracción y dispersión de los rayos del Sol, que pasan tangentes y á través de la envoltura gaseosa de nuestra Tierra.

Dejando ahora el cielo lunar, vamos á ocuparnos de nuevo de las escenas y panoramas de que pudiera disfrutar un selenita, ó un terrícola transportado á la superficie de la casta Diana, y supongámoslo colocado en la ladera oriental de uno de los baluartes pertenecientes á cualesquiera de los cráteres de grandes dimensiones; como sabemos, en la Luna hay que situarse en un punto mucho más elevado, comparativamente, que en la Tierra, para que sea dable contemplar un vasto paisaje, pues debido á la pequeña magnitud del satélite, es muy considerable la depresión de horizonte; esta elevación la alcanzaríamos sin necesidad de emplear ningún gran esfuerzo, puesto que, como sabemos, la gravedad en la Luna es seis veces menos intensa que en la Tierra, sextuplicándose, por lo tanto, nuestra potencia muscular. Escojamos, por ejemplo, una de las escarpas de Copérnico; comienza el día por una transición en extremo brusca; el débil resplandor de los objetos, visibles únicamente por los destellos combinados de la Tierra en cuarto y de la luz zodiacal, es el precursor del alba; de repente, los picos de las más empinadas montañas reciben los rayos directos de una porción del disco solar, que con timidez se muestra por el horizonte. El brillo deslumbrador de las cimas sólo sirve para hacer más manifiesto el contraste que presentan con la profunda obscuridad del valle, y parecen como islas de luz sobre un océano de tinieblas; con una velocidad veintiocho veces menor que aquella á que estamos acostumbrados, va la luz lentamente descendiendo por las laderas, y en el transcurso de unas doce horas, todo el baluarte circular del inmenso cráter que se halla á nuestras plantas y hacia la parte del Este, brilla con luz deslumbradora, sin que la más pequeña nube, la más ligera humedad,



LA TIERRA VISTA DESDE LA LUNA

amortigüe la intensidad de los ardientes rayos solares. Pero al lado opuesto, y dirigiendo la vista hacia el interior del cráter, nada se distingue y todo permanece envuelto en la más densa obscuridad. Hora tras hora se pasa, y la luz va conquistando gradualmente, primero un pico, el otro luego, y después el siguiente, hasta que los baña todos, y el circo completo, de unas veinte leguas de diámetro, aparece como un inmenso brocal de plata, rodeando el negro y terrible abismo.

Poco á poco se muestra en el centro un grupo de picos brillantes, correspondientes á las cimas de los conos interiores, iluminados á su vez por el Sol. Desde nuestra elevada vigía podemos, tendiendo la vista hacia la región bañada por los rayos del Sol, percibir un mudo é imponente panorama, de hermosura verdaderamente salvaje; cráteres innumerables de todas magnitudes, desde dos leguas de diámetro hasta los de mayores dimensiones, cubren casi en totalidad la vasta comarca sometida á nuestro examen; cerca de la base del baluarte que hemos escogido como observatorio, cruzan de Norte á Sur extensas y macizas cordilleras, que arrojan sombras largas y profundas hacia nuestros pies; y más lejos, allá en la parte del Sur, se distinguen algunas espantosas ranuras, anchas de pocos kilómetros y de una profundidad y negrura en verdad imponentes. Más cerca todavía, casi á nuestros mismos pies, se amontonan peñascos sobre peñascos y precipicios sobre precipicios en horrible tropel y confundidos con cráteres, excavaciones, pozos y abismos de todo género, entre los que se destacan algunas pilas gigantescas de escorias y escombros. En este desolado panorama no percibimos el menor vestigio de vida orgánica presente ni pasada; las angulosas aristas de las montañas no ofrecen á las miradas del espectador un contorno, un perfil redondeado por el musgo de las colinas ó las hierbas de las laderas; los valles y mesetas, cuyo origen ígneo es imposible desconocer, presentan un color uniforme, sin que una tristísima planta, ni aun de las más imperfectas, como los líquenes, dulcifique el terrible aspecto de estas desiertas comarcas, privadas de agua y de vegetación; en toda la extensión del paisaje, y tan lejos como pueda alcanzar la vista, sólo se percibe un mudo desierto; se contempla, no el espectáculo de un mundo que murió, puesto que esto supondría que en algún tiempo pudo alimentar seres en su superficie, sino de un cuerpo en el que jamás sonrió la aurora de la vida.

Si al cabo de algunas horas de intervalo volvemos á mirar hacia el interior del gran anfiteatro crateriforme, observaremos que los rayos del Sol de la mañana han inundado el lejano costado del baluarte opuesto á aquel en que nos encontramos, haciendo visibles sus infinitas ranuras, grietas, precipicios y accidentes de toda especie, en parte comparables por su estructura á los que se encuentran en las cordilleras terrestres, salvo su imponente y salvaje grandeza; la meseta del cráter está aún medio envuelta en la sombra, unos 3.500 metros más baja que nuestra vigía, con su gran grupo de conos perfectamente visibles, colocado en su centro. Aunque estos últimos se encuentran á ocho leguas de distancia, y á diez y seis la base del baluarte opuesto, carecemos de medios para apreciar el espacio que las separa, pues faltando la atmósfera, no hay perspectiva aérea, y los objetos lejanos parecen tan brillantes y detallados como los que se encuentran casi al alcance de nuestra mano.

Hasta aquí hemos limitado nuestras especulaciones sobre las condiciones del suelo lunar á los únicos fenómenos que corresponden al sentido de la vista; mas para ensanchar el campo de nuestras suposiciones, tropezamos con una grandísima dificultad, porque es imposible concebir las sensaciones que la falta de atmósfera produciría sobre las funciones más importantes de nuestro organismo. Lo primero que llamaría nuestra atención sería el intensísimo calor de los rayos directos del Sol, y consiguientemente su influjo poderoso en la superficie material que hemos escogido como punto de observación. Durante un período de más de 300 horas, derrama el Sol su calor con fiereza extraordinaria sobre un suelo sin amparo ni abrigo de ninguna especie; sin que la más ligera nube le preste su sombra momentánea, y sin que la benéfica lluvia lo refresque de vez en cuando; así que su temperatura llega, como decimos en las páginas anteriores, casi al punto de fusión del plomo; este influjo abrasador se extiende á todos los objetos que se encuentran en la zona iluminada por el Sol. Pero mientras estas regiones reciben tan inmensa cantidad de calor, las que se encuentran situadas en el hemisferio opuesto permanecen heladas, y las alternativas de frío y de calor que se experimentan en los distritos montañosos de nuestro globo, apenas pueden compararse á las que tienen lugar en la superficie de la Luna; las consecuencias de estos terribles cambios de temperatura en la costra lunar han de producir precisamente grandes dislocaciones en los terrenos y rocas volcánicas del satélite. La falta de atmósfera hace también que no se perciba el menor ruido, pues el que ha de acompañar á estas espantosas catástrofes sólo se podrá apreciar por las vibraciones del suelo, pero de ningún modo por la propagación de las ondas sonoras, que no encuentran medio adecuado para su desarrollo y dispersión. Un silencio de muerte reina en la superficie lunar, y ni aun la descarga de mil piezas de artillería podría escucharse, aunque colocásemos nuestro oído en el centro de la formidable batería.

Es original que, hallándose la Luna sometida, por decirlo así, á un bombardeo continuo, producido por los enjambres de estrellas fugaces, jamás se vea cruzar por el cielo ningún meteorito, pues éstos se perciben desde la Tierra, porque se inflaman al chocar contra las moléculas gaseosas de la atmósfera; pero como en la Luna no encuentran este medio resistente, son por completo invisibles; además, no encontrando obstáculo alguno en su carrera, caen en la superficie lunar con velocidad extraordinaria, pues conservan la suya propia, á la cual se agrega la atracción del satélite; desde este punto de vista, no es tampoco muy envidiable la residencia en la Luna.

Es posible que la Tierra envíe á la Luna algún calor, pero en tan corta cantidad, que no bastará á templar, ni con mucho, el rigor de sus crueles noches; el calor acumulado en el suelo lunar durante las trescientas horas de Sol, rápidamente irradia hacia los helados espacios, toda vez que la Luna carece de envoltura protectora que lo conserve, y pronto vuelve la superficie á adquirir una temperatura que podemos comparar á la del frío absoluto; el clima de la noche lunar ha de ser tan terrible, que á su lado parecería tropical el de nuestras zonas polares.

Estos son los principales fenómenos que podríamos contemplar, si nos fuera dable transportarnos á la superficie de nuestro satélite; la pintura dista mucho

de ser agradable, pero en cambio es instructiva, y por imperfecta que haya sido nuestra descripción, servirá al menos para que el lector reflexivo ensanche el campo de sus especulaciones y considere el extraordinario interés que despiertan las escenas de la naturaleza, según que se estudian en nuestro globo ó en cualquiera de los infinitos mundos que pueblan los espacios.

CAPITULO VI

MARTE

Conocimientos de los antiguos sobre Marte - Movimiento de Marte. - Aspecto de Marte: sus fases y dimensiones. - Satélites de Marte. - Aspecto geográfico y constitución física de Marte.

Los astrónomos representan á Marte con este signo ♂ , que se compone, al parecer, de una lanza y un escudo.

Este planeta se conoce desde muy antiguo; los israelitas le daban un nombre que significa *abrasado*; los griegos lo llamaban *incandescente*; los indios *Angaraka*, que significa carbón ardiente, y también de *Lohitanga*, que quiere decir cuerpo rojo.

Cuando los griegos y los romanos querían hablar de un estrella rojiza, tomaban siempre por término de comparación á este planeta; hoy día, es Marte aún el astro del firmamento que presenta un color rojo más pronunciado, y parece que dos ó tres mil años no han alterado el carácter particular de la luz que nos refleja, color que depende, sin duda alguna, de la naturaleza de la materia de que se componen ciertas regiones del planeta.

Las observaciones más antiguas que se registran sobre Marte pertenecen á la época en que florecieron las ciencias en el Egipto; la primera de todas, hecha por Ptolemeo, se halla consignada en el *Almagesto*. Su fecha corresponde al 17 de enero de 272 años antes de Jesucristo.

A este propósito, dice un autor inglés, muy versado en los estudios orientales, que el curso de Marte se conocía mucho antes de esa época, puesto que en las ruinas de Nínive se han encontrado tabletas de barro cocido, escritas en caracteres cuneiformes, de una obra titulada *Las Observaciones de Belo*; esta obra, dividida en LX libros, había permanecido entre las ruinas del palacio de Sardanápalo y pertenecía anteriormente á la biblioteca pública de la ciudad, en una época que no puede ser posterior al siglo XVIII antes de nuestra era, pues estaba dedicada al rey Sargou de Argané, en Babilonia. Uno de los libros de la obra está consagrado al planeta Marte, otro á Venus, otro á la estrella polar (que entonces era alfa del Dragón), etc., etc.; los cinco planetas, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, se conocen desde esta época, y la semana de siete días, consagrada á los siete astros, que eran los cinco planetas indicados, y además al Sol y á la Luna, se usaba ya al comenzar las observaciones asirias y acadias, es decir, hacia el año 2540 antes de nuestra era.

Así se demuestra una vez más, como hemos dicho en el curso de esta obra, que la astronomía es la primera y más antigua de las ciencias, sin que su mérito é importancia actual se reduzca al conocimiento, importantísimo en sí mismo, de

los cuerpos del cielo; sino que también nos auxilia, y mucho, en nuestras investigaciones sobre la cronología y costumbres de los pueblos antiguos, cuyas religiones están basadas, por lo común, en esta ciencia admirable; en los tiempos primitivos, lo mismo que en los actuales, se ha fijado el hombre en la estructura y disposición del firmamento, para construir sus quiméricas especulaciones metafísicas; y ya bajo un nombre, ora bajo otro, han representado siempre los planetas un papel importante en muchas religiones de la antigüedad y en algunas sectas filosóficas de la edad presente.

Los planetas que hemos estudiado hasta aquí, Mercurio y Venus, pues la Tierra, aunque planeta, debe en este caso exceptuarse, se llaman *inferiores* ó *interiores*, porque están comprendidos dentro de la órbita de la Tierra, y también porque nunca se apartan á uno y otro lado del Sol, sino ciertas cantidades limitadas, cuyos valores angulares hemos indicado; los planetas de que vamos á ocuparnos ahora, y de los cuales es Marte el primero, se llaman *superiores* ó *exteriores* porque se alejan angularmente del Sol á todas las distancias imaginables y porque circulan en órbitas externas á la de la Tierra.

Como llevamos explicado, Mercurio y Venus se encuentran á veces más allá del Sol, con relación á la Tierra; y en otras ocasiones, en una posición intermedia entre el Sol y nosotros. En el primer caso, cuando ambos astros pasan casi al mismo tiempo por el meridiano, se dice que el planeta está en conjunción *superior*; la conjunción inferior tiene lugar en el momento en que el planeta, á su paso por el meridiano con el Sol, se encuentra entre este astro y nosotros; de modo que todos los planetas que vamos á estudiar de aquí adelante, carecen de conjunción inferior, puesto que jamás pasan entre la Tierra y el astro lumínico del día; pero, en cambio, hay un punto en su órbita en el que el astro se encuentra al lado opuesto del Sol con relación al globo terrestre, pasando por el meridiano doce horas después que el Sol, esto es, á media noche, y entonces se dice que está en oposición.

Cuando ocupa unas posiciones intermedias particulares entre estas dos y su distancia angular al Sol es de 90° , ora al Oriente, ya al Occidente, y pasa por el meridiano hacia las seis de la tarde ó de la mañana, se dice que está en *cuadratura*, frase que conocemos por haberla empleado anteriormente al hablar de la Luna.

Cuando por la mañana se desprende Marte de los rayos solares, su movimiento, relativamente á las estrellas, se dirige de Occidente á Oriente, esto es, camina en la dirección de todos los cuerpos del sistema solar; este movimiento se llama directo, lo cual no impide, sin embargo, que el Sol, que está al oriente de Marte y cuya marcha se dirige en igual sentido, se aleje más cada día del planeta, pues su velocidad angular aparente es más considerable; el movimiento de Marte disminuye, llega á ser nulo cuando el planeta se encuentra á 137° del Sol y entonces se dice que *está estacionario*.

En seguida, comienza el astro á caminar nuevamente, pero su movimiento se efectúa en sentido contrario al anterior; se llama movimiento *retrógrado* y se dirige de Oriente á Occidente, alcanzando su velocidad máxima el día de la oposición; disminuye luego, y durante varios días permanece el planeta estacionario otra vez, con relación á las estrellas, cuando su distancia al Sol es tan sólo de

137°. Desde esta segunda estación y durante el resto del año continúa Marte caminando en sentido directo ó sea de Occidente á Oriente.

Estos movimientos directos, separados por un arco de retrogradación cuya mitad se encuentra en el punto de oposición, y que parten de los dos lugares en que el planeta aparece algún tiempo estacionario entre las estrellas, son importantísimos, y podemos decir que en este fenómeno se encuentra el secreto del verdadero sistema del mundo, que debemos al incansable é inmortal Keplero; si la órbita de Marte, en vez de ser elíptica y muy excéntrica, fuese casi circular como la de Venus, quizás no conociésemos todavía las verdaderas leyes astronómicas. Tycho Brahe había observado el planeta Marte con gran asiduidad y durante largo tiempo, con objeto de determinar con exactitud la naturaleza de sus movimientos. Keplero pidió al ilustre dinamarqués esta magnífica serie de observaciones, y Tycho se las confió, *con la precisa condición de que no se sirviera de ellas para probar el sistema de Copérnico.*

Afortunadamente para la ciencia, no cumplió Keplero su palabra, y durante quince años consecutivos trabajó sin cesar en estas observaciones, procurando conciliarlas con la antigua doctrina de la inmovilidad de la Tierra, que enseñaba asimismo que en el universo todo se mueve en círculo perfecto. Llegó al cabo á deducir que era absolutamente imposible hacerlas coincidir con esta figura y que desde luego podía afirmarse que los planetas no describen círculos, sino elipses. A este descubrimiento se debe la verdadera fundación de la mecánica celeste, comprendiendo en él, por supuesto, el gran invento de Newton de la atracción universal. Queriendo Keplero significar la magnitud é importancia del trabajo que había ejecutado, refería que Retico intentó antes que él reformar la astronomía; pero que, confundido por los movimientos de Marte, había evocado á su genio familiar, el cual llegó, y cogiéndolo por los cabellos, lo suspendió hasta el techo y lo dejó caer, diciéndole: «Este es el movimiento de Marte.»

El arco de retrogradación de Marte vale próximamente unos 16° que recorre el astro en 73 días. El tiempo que emplea en volver á coincidir con unas mismas estrellas del cielo, es decir, la duración de su revolución sidérea, es de 686 días y 98 centésimas de día, ó sea 1 año, 10 meses y 21,9^d.

Su revolución sinódica, ó lo que es lo mismo, el tiempo que tarda en volver á ocupar una misma posición aparente respecto del Sol, es de 779 días ó 2 años, 1 mes y 19 días, en cuya duración se comprenden ambos movimientos, el directo y el retrógrado.

La órbita de Marte no coincide con el plano de la eclíptica, siendo su inclinación de 1° 51' 6", 2; también forma un ángulo de 24° 44' 44" con el plano del ecuador terrestre.

La duración de la revolución sinódica es variable, y el número que hemos dado de 779 es el término medio común; en esta cantidad hay que distinguir un período de 73 días, en cuyo promedio ocurre la oposición; durante este tiempo, el movimiento del planeta en el cielo es retrógrado, es decir, que parece que se dirige de Oriente á Occidente, con una velocidad variable que llega á su máximo el mismo día de la oposición. Al principio y al fin de este período retrógrado parece que Marte está estacionario, y por último, el resto de su movimiento aparente es directo, y la velocidad con que Marte se mueve á través de las conste-

laciones del firmamento alcanza su velocidad máxima el día de la conjunción. Estas apariencias, estas estaciones y retrogradaciones son comunes á todos los planetas superiores y se explican fácilmente por los movimientos reales y simultáneos de dichos cuerpos y la Tierra; se producen por un efecto de perspectiva, imposible de demostrar sin un aparato mecánico; pero pondremos un ejemplo fácil de ejecutar por dos observadores, y que con toda claridad manifiesta las leyes en cuya virtud se ejecutan los movimientos aparentes de Marte.

Supongamos que en un llano, en medio del campo, clavamos una estaca que va á representar el Sol, y el suelo, el plano de la eclíptica; alrededor de la estaca, y con radios distintos, trazamos dos grandes círculos que servirán para indicarnos las órbitas de la Tierra y de Marte, ó de cualquier otro de los planetas exteriores; por el círculo interior camina uno de los observadores (fig. 155) que representa la Tierra, mientras que el otro, colocado en el círculo de fuera y que figura Marte, permanece fijo por ahora; si el observador interno, sin cesar de dar vueltas, marca con los ojos la posición que el otro observador ocupaba al principiar su movimiento, tomando como punto de mira ó de enfilación un árbol ó cualquiera otro objeto del horizonte, notará que parece moverse, primero, en el mismo sentido que el poste ó el Sol, pero que poco á poco se detiene, llega á permanecer estacionario, vuelve á su posición primitiva por un movimiento opuesto, pasa adelante, se detiene de nuevo y toma otra vez su movimiento directo y la posición que ocupaba en el momento de partir.

En este ejemplo, la persona que se mueve en el círculo interior representa la Tierra, y se ve que la conjunción y la oposición, que las estaciones y retrogradaciones, deben reproducirse á cada revolución terrestre, es decir, todos los años. Esto proviene de que hemos supuesto que la persona situada en el círculo exterior permanecía inmóvil; pero si á su vez camina, como en realidad lo efectúan los planetas superiores, teniendo por centro de su movimiento el mismo poste ó Sol, con menor velocidad que la Tierra, desde ésta se verá que se producen las mismas apariencias y en orden idéntico, con la diferencia de que los intervalos de los diversos fenómenos serán más largos, y el período total se apartará tanto más de un año, es decir, del de una revolución terrestre, cuanto más rápido sea el movimiento del planeta exterior, ó lo que viene á ser lo mismo, cuanto más cerca esté de la Tierra.

La complicación de los movimientos que acabamos de estudiar, fué durante muchos siglos la barrera que se opuso al progreso de la astronomía. Como la base de la doctrina de los antiguos astrónomos era la inmovilidad y fijeza de la Tierra y el movimiento real del Sol, no podían darse cuenta de las estaciones y retrogradaciones de los planetas, sino adoptando unas hipótesis absurdas y complicadísimas, que fundaban en los para ellos incomprensibles movimientos aparentes de los planetas. Suponían que las curvas en que caminaban no eran únicas, sino múltiples, esto es, una serie de círculos, cuyos centros se movían respectivamente sobre la circunferencia de la curva principal, á cuales círculos daban el nombre de *epíciolos*.

A medida que se perfeccionaban los instrumentos y las observaciones eran más exactas, aumentaba la confusión y se hacían más sensibles las anomalías de los movimientos; al propio tiempo crecía la complicación de las teorías astronó-

micas. Se dice, á este propósito, que don Alfonso el Sabio, examinando el sistema de los epiciclos, exclamó: «Si Dios me hubiese llamado á su consejo cuando creó el mundo, á buen seguro que yo le hubiera indicado un sistema menos complicado.» Comprenderán nuestros lectores que esta es una anécdota que, sin pruebas de ninguna especie, se atribuye al sabio rey, de cuya piedad no puede dudarse ni un solo instante.

A Copérnico corresponde, como hemos dicho, el honor de haber promulgado el verdadero sistema del mundo ó de los movimientos planetarios. Colocando el Sol en el centro del mundo solar, y haciendo mover á su alrededor la Tierra y los demás astros que lo componen, consiguió explicar, con sencillez maravillosa, las apariencias y fenómenos que acabamos de describir. Las estaciones y retrogradaciones de los planetas, sus velocidades, que alternativamente crecen y



Fig. 155. - Estaciones y retrogradaciones de los planetas exteriores

disminuyen, llegando á ser nulas en el intermedio, son testimonios fehacientes de la verdad de su doctrina, y como dice Biot en su *Astronomía*, bastan por sí solas para que se adopte sin vacilar, y sin más pruebas, la teoría completa.

La órbita de Marte es elíptica y se separa mucho de la forma circular, lo que quiere decir que su excentricidad es muy grande; en efecto, tiene un valor de 0,093, mayor, por lo tanto, que la de ningún otro planeta, salvo Mercurio; sus distancias al Sol son muy variables; si representamos por 1 la distancia media de la Tierra al Sol, viene á ser la distancia media de Marte al cuerpo central asimismo de 1,524; en su perihelio de 1,382 y en su afelio de 1,666. En leguas:

| | | | |
|----------------------------|---|--------------------------|------------|
| Distancias de Marte al Sol | { | En el afelio. | 61 600.000 |
| | | Media. | 56 400.000 |
| | | En el perihelio. | 51.100.000 |

Como vemos, la diferencia que existe entre las distancias máxima y mínima del planeta al Sol viene á ser de 10.500.000 leguas; poco más ó menos, la quinta parte de su distancia media; el desarrollo total de su órbita mide 350 millones de leguas, que el planeta recorre con una velocidad variable de 5,5 á 6,5 le-

guas por segundo, y por término medio de 500,000 leguas diarias. De modo que su velocidad de traslación es aproximadamente como los 8 décimos de la terrestre, esto es, que camina más despacio que la Tierra.

Resulta de las posiciones respectivas de Marte y la Tierra, que sus distancias varían en proporciones considerables. En efecto, en la época de las conjunciones nos separa del astro un radio de la órbita terrestre y el radio de la órbita marcial, es decir, que hay que sumar los radios vectores ó distancias de la Tierra y de Marte al Sol para obtener la distancia mutua, poco más ó menos; mientras que en las oposiciones, la distancia es igual á la diferencia que existe entre estos dos valores.

Resumiendo; las distancias de Marte á la Tierra varían de 1 á 7; la más pequeña de todas equivale á los $\frac{3}{8}$ únicamente de la distancia media de la Tierra al Sol, es decir, que es igual á 14 millones de leguas; la mayor es tres veces superior á la distancia media ó sean 99 millones de leguas. La cantidad de calor y de luz que Marte recibe del Sol equivale á 0,43 de las que envía á la Tierra, suponiendo estas últimas iguales á 1.

El hermoso planeta Marte brilla con luz roja y tranquila en el azul firmamento; esta falta de centelleo hace que se le reconozca con gran facilidad á la simple vista, pues todos los demás cuerpos celestes de color de fuego brillan con marcadas intermitencias, carácter común á todas las estrellas. Los planetas Mercurio y Venus, cuya luz es blanca, pueden confundirse con las estrellas fijas pues centellean como éstas; pero el color sangriento de Marte y la tranquilidad de su luz hacen que se le reconozca fácilmente, á la simple vista.

Cuando Marte comienza á desprenderse de los rayos solares, esto es, cuando se aparta de su conjunción con el Sol y se examina con un mediano telescopio, aparece su disco perfectamente circular y de un color rojo, menos brillante que á la simple vista.

En la época de la oposición, algunos días antes y después de esta situación particular, es igual su forma al Oriente y al Occidente; pero á mayor distancia de la oposición presenta una fase sensible, la cual alcanza su máximo en las cuadraturas, sin que jamás obtenga el planeta, no obstante, la forma de una media luna, como ocurre con los dos planetas interiores Mercurio y Venus, que ya hemos estudiado. Esto depende de que, como la órbita de Marte comprende á la de la Tierra, nunca puede volver hacia nosotros más que una pequeñísima parte de su hemisferio obscuro; en la época de las cuadraturas, como decimos, tiene lugar la fase más considerable, que llega á ser de unos 30° ; pero aun en este caso, se parece el disco visible al de la Luna, tres días antes de su lleno, con su parte circular dirigida hacia el Sol.

De estas observaciones resulta que Marte carece de luz propia y que brilla á nuestros ojos gracias á la luz que refleja del Sol. En esta situación se dice que Marte está *dicótomo*.

El descubrimiento de las fases de Marte se debe á Galileo; el 30 de diciembre de 1610 escribía el ilustre astrónomo al P. Castelli: «No me atrevo á asegurar que haya observado las fases de Marte; sin embargo, si no me equivoco, creo ver que no es perfectamente redondo.» El 24 de agosto de 1638 vió Fontana, en Nápoles, según refiere Riccioli, que el planeta aparecía jiboso; esta ob-

servación, dada la época, puede considerarse como un descubrimiento; hoy día, con los medios de que disponen los astrónomos, se observan fácilmente las fases, en la época de las cuadraturas. Arago dice que es necesario valerse de un buen anteojo para percibir las; sin embargo, se distinguen fácilmente con un anteojo de larga vista.

Las distancias de Marte á nuestro globo, como sabemos, son muy variables, de donde resulta que su diámetro angular oscila entre límites bastante considerables; su valor mínimo después de la conjunción es de $3''3$, y el máximo, correspondiente á una oposición, se eleva á $23''5$. A la distancia media de la Tierra al Sol, sería el diámetro de Marte de $8''9$, lo que corresponde próximamente á

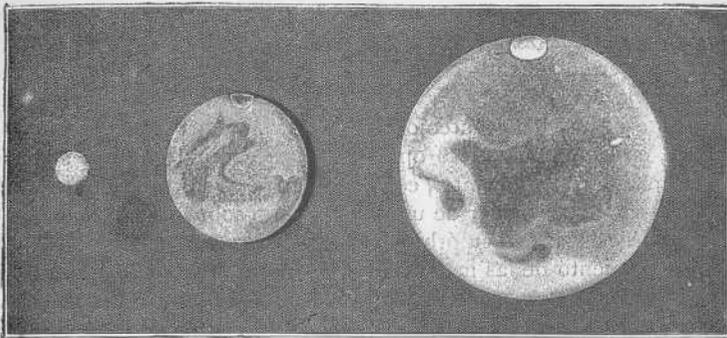


Fig. 156. - Magnitudes aparentes del disco de Marte á sus distancias extremas y media de la Tierra

1.700 leguas; pero las medidas micrométricas obtenidas últimamente han hecho modificar estos guarismos.

| | |
|------------------------|---------|
| Arago obtuvo | $9''57$ |
| Herschel | $9''10$ |
| Liais | $9''90$ |

En la fig. 156 pueden verse las relaciones de las magnitudes aparentes del disco de Marte á su mayor distancia de la Tierra, á su distancia mínima y á una distancia media, igual á la que hay de la Tierra al Sol.

Las variaciones de distancia son muy sensibles, aunque sólo se comparen entre sí, las que corresponden á las oposiciones, lo cual depende de la gran diferencia que existe entre el círculo y la órbita real de Marte.

Si suponemos que el diámetro aparente del planeta sea igual á $9''57$, resultan las siguientes dimensiones reales, en la inteligencia de que la Tierra es igual á 1.

| | |
|-----------------------------|---------|
| Diámetro de Marte | $0,540$ |
| Superficie | $0,292$ |
| Volumen | $0,157$ |

Como vemos, el diámetro de Marte viene á ser poco más que la mitad del terrestre, según fácilmente se observa en la fig. 157.

Expresado en medidas itinerarias, equivale el diámetro de Marte á 1.700 leguas, y la circunferencia de su ecuador á 5.375 leguas. Para formar una esfera del tamaño del Sol, harían falta 8.300.000 globos como Marte.

El disco de Marte no es perfectamente circular como hemos supuesto, y uno de sus diámetros es más corto que los demás; Marte, pues, es un globo achatado. Las primeras observaciones del achatamiento de Marte se deben á Herschel I y son del año 1784; este astrónomo inmortal creía que la diferencia entre los diámetros máximo y mínimo del planeta se elevaba á $\frac{1}{16}$. El famoso Schroeter rechazó esta afirmación, y supuso que sólo llegaba, dado que existiera, á $\frac{1}{80}$. Bessel, cuya autoridad en este asunto no puede ni por un momento ponerse en duda, no aceptó tampoco la suposición del achatamiento de Marte, puesto que su hermoso heliómetro no le acusaba discrepancia alguna. La cuestión está todavía por resolver.

Valiéndose de un buen anteojo astronómico, y en condiciones favorables, por ejemplo, en las épocas de las oposiciones, se distinguen en la superficie de Marte unas manchas permanentes, con cuyo auxilio se ha probado el movimiento giratorio del planeta alrededor de un eje inclinado sobre el plano de la eclíptica $59^{\circ} 42'$ y sobre el plano de su órbita $61^{\circ} 18'$.

El descubrimiento de las manchas de Marte fué uno de los primeros frutos que se obtuvieron del invento del anteojo. En 1636, Fontana distinguió un punto obscuro en el disco de Marte; el P. Zucchi en 1640 habla también de ciertas manchas de igual clase; el P. Bartoli, de Nápoles, escribía en diciembre de 1644 que había visto dos manchas negras en la parte inferior del disco. Otros astrónomos distinguieron las manchas á diversas horas de las señaladas por Bartoli, y empezaron á sospechar el movimiento rotatorio del planeta.

Juan Domingo Cassini, por observaciones directas que hizo en Bolonia en 1666, determinó aproximadamente el período de rotación de Marte; halló que una revolución completa se efectuaba de Occidente á Oriente en $24^{\text{h}} 40^{\text{m}}$; los observadores de Roma pretendieron, sin razón, disminuirla á 13^{h} ; Cassini confirmó sus primeros resultados en el Observatorio de París en 1670. Posteriormente, en 1704, halló Maraldi $24^{\text{h}} 39^{\text{m}}$ como valor del período; pero durante la favorable oposición de 1719 aprovechó este mismo astrónomo cuantas ocasiones propicias se le presentaron para observar, y obtuvo el mismo número que Cassini, esto es, $24^{\text{h}} 40^{\text{m}}$ como duración de la revolución marcial.

Herschel adoptó, según sus propias observaciones, $24^{\text{h}} 39^{\text{m}} 4^{\text{s}}$, á este astrónomo se debe la primera determinación de la posición del eje de rotación del planeta, y por consiguiente, la inclinación y la proyección de su ecuador sobre el plano de la eclíptica. Beer y Maedler dedujeron de las observaciones verificadas en Berlín, con extraordinaria minuciosidad, un período de rotación igual á $24^{\text{h}} 37^{\text{m}} 23^{\text{s}}$. El profesor Kaiser, de Leyde, lo estima de $24^{\text{h}} 37^{\text{m}} 22,6^{\text{s}}$. Las discrepancias que se notan entre estos números dependen principalmente de la dificultad que hay en reconocer una misma mancha ó punto del disco en dos situaciones exactamente idénticas, pues para conseguirlo se necesita el concurso de muchas circunstancias favorables.

Hoy día se admite que la duración del día sidéreo de Marte es igual á $24^{\text{h}} 37^{\text{m}} 22^{\text{s}} 735$, esto es, $41^{\text{m}} 19^{\text{s}}$ más largo que el terrestre; de este dato podemos deducir la duración del día solar, teniendo presente que Marte efectúa una revolución en $686^{\text{d}} 98$ y que, por lo tanto, su año consta de 669 rotaciones y $\frac{2}{3}$ poco más ó menos; y como este mismo año debe tener un día menos, resulta que comprende 668 días y 16 horas solares del planeta, de una duración media de $24^{\text{h}} 39^{\text{m}} 35^{\text{s}}$.

Es Marte un planeta que ofrece muchos puntos de contacto y semejanza con la Tierra, en particular en cuanto á la velocidad del movimiento de rotación; los fenómenos que de esto resultan, la sucesión de los días y las noches, las salidas y posturas del Sol y de las estrellas, son poco más ó menos iguales á las terrestres, y se suceden en períodos de tiempo casi iguales; pero si la velocidad angular de la rotación es casi igual, esto es, si Marte y la Tierra giran sobre sus respectivos ejes en períodos de tiempo iguales ó poco menos, no ocurre lo mismo con la velocidad de traslación ó lineal, que es muy inferior á la de nuestro globo.

La relación de estas velocidades está en razón directa de los radios de ambos globos é inversa de los períodos de rota-

ción; en una misma latitud arbitraria, un punto de Marte posee una velocidad lineal de rotación algo mayor que la mitad de la que tiene un punto análogo situado en la superficie de la Tierra; en nuestro globo sería la velocidad del lugar supuesto 1000, por ejemplo, y en Marte sólo de 0,526; más claro: un punto del ecuador terrestre recorre, según sabemos, 465 metros en un segundo, mientras que un punto situado en el ecuador de Marte sólo recorre en el mismo período de tiempo 247 metros.

La fuerza centrífuga es menor que en la Tierra en una proporción semejante; por manera que su influjo en la disminución de la fuerza de gravedad es también menos considerable que en la Tierra, y en esta consideración se apoyan precisamente los astrónomos que rechazan por exagerado el achatamiento que indican las medidas micrométricas.

De la posición de los polos de Marte y de la inclinación de su eje de rotación sobre el plano de su órbita resulta una nueva semejanza entre este planeta y la Tierra; los solsticios de Marte se apartan poco del perihelio y del afelio; durante el invierno del hemisferio Norte, se halla el Sol á su distancia mínima de Marte, y en el verano, por el contrario, alcanza su mayor valor. En esta circunstancia hallamos, según hemos podido ver al estudiar los planetas anteriores, un elemento fundamental del clima astronómico y sin duda meteorológico también,

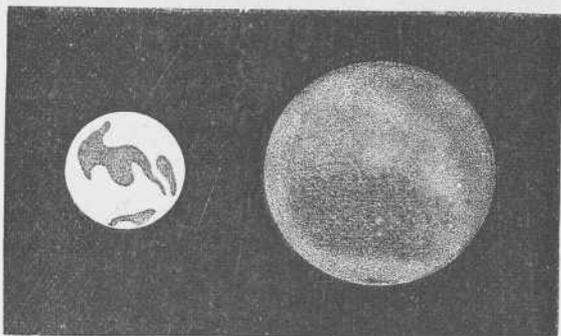


Fig. 157. - Marte y la Tierra: dimensiones comparadas

puesto que éste es una consecuencia precisa del primero; sin profundizar mucho en nuestras observaciones, podemos afirmar que el globo de Marte se halla dividido en zonas glaciales, templadas y tórridas, de extensión proporcionada á las zonas terrestres (fig. 158), toda vez que la inclinación del eje marcial es inferior á la del eje de la Tierra tan sólo en unos 4 grados próximamente; así, pues, las duraciones de los días y las noches; sus variaciones según las latitudes, y en una misma latitud según la época del año; las interminables noches y eternos días de las regiones polares; en una palabra, todo lo que se relaciona con la distribución de la luz y el calor del Sol, haciendo abstracción completa de su intensidad, presenta un carácter de semejanza extraordinario entre Marte y la Tierra; sin embargo, hay algunas diferencias notables que señalar, siendo la principal de todas la desigualdad que existe en el período ó duración de las estaciones. Esto nos obliga á entrar en ciertos detalles.

Toda vez que existe un eje de rotación, hemos de distinguir en Marte, como en la Tierra, dos polos diametralmente opuestos y dos hemisferios, el uno boreal y austral el otro, separados por un plano que pasa por el centro del planeta y es perpendicular al eje, á saber, por un plano ecuatorial; este plano permanece paralelo á sí mismo, y el Sol ha de encontrarse precisamente en el hemisferio boreal durante la mitad de la revolución del planeta y luego en el hemisferio opuesto.

Estos dos períodos se encuentran separados por los equinoccios, que son semejantes á los que se observan en nuestro globo. Habrá también en Marte diversas estaciones, análogas á las que se experimentan en la Tierra, y cuya explicación hallamos en las distintas posiciones del Sol respecto del ecuador.

La desigual duración de las estaciones frías y cálidas no impide que en ambos hemisferios se experimente una misma temperatura media; en cuanto á las extremas, pueden presentar enormes diferencias, si se compara un hemisferio con el opuesto. Así, pues, en el solsticio de verano del hemisferio austral, se encuentra el planeta á su distancia mínima del Sol, y por consecuencia recibe de este astro la cantidad máxima de calor que le puede comunicar, la cual alcanzará su mínimo en el solsticio de invierno.

Las estaciones en Marte, aunque análogas á las terrestres, según vamos viendo, se diferencian de éstas notablemente en cuanto á su duración; en efecto, hemos hecho observar que el año marcial consta de 687 días terrestres, por manera que cada estación viene á ser de doble duración que en la Tierra. Además, siendo muy excéntrica la órbita de Marte, tiene que ser más acentuada la desigualdad de las estaciones. He aquí la división de los 668 *días solares* del año marcial en el hemisferio boreal del planeta:

DURACIÓN DE LAS ESTACIONES

| EN LA TIERRA | EN MARTE |
|-------------------------------------|---------------------|
| Primavera. . . . 93 días terrestres | 191 días marciales. |
| Verano. 93 » » | 181 » » |
| Otoño. 90 » » | 149 » » |
| Invierno 89 » » | 147 » » |

Claramente se percibe que las estaciones de Marte son mucho más lentas y desiguales que las nuestras; los números que anteceden son relativos á las estaciones estivales del hemisferio boreal; pero como las estaciones estivales de este hemisferio son invernales en el hemisferio sur, y recíprocamente, resulta que la primavera y el verano reunidos duran en el primero 76 días más que en el segundo; de modo que el Sol permanece más tiempo al Norte del ecuador marcial que hacia el Sur, y por lo tanto, su calor debe acumularse en el hemisferio boreal en mucha mayor proporción que en el hemisferio opuesto. Pero en Marte,

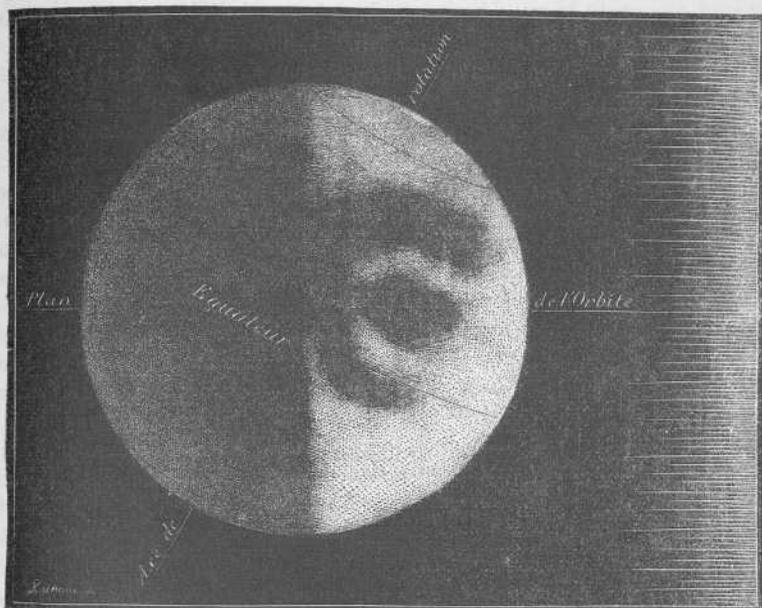


Fig. 158. — Marte en el solsticio de verano: inclinación del eje de rotación

o mismo que en la Tierra, hay cierta compensación, que proviene de las variaciones de las distancias del planeta á su foco de luz y de calor. Por ejemplo, cuando Marte se encuentra á su distancia media del Sol, la intensidad de las radiaciones solares que hieren su superficie puede expresarse por el número 0,431, tomando como unidad la intensidad relativa á nuestro globo; en el afelio sólo llega á 0,360, mientras que en el perihelio la misma intensidad sube hasta 0,524, aumentando, pues, casi en una mitad del afelio al perihelio. Teniendo en cuenta todas las causas de compensación, debe el hemisferio austral sufrir unos veranos más cálidos y unos inviernos más fríos que el opuesto, del mismo modo que ocurre en la Tierra.

En otras ocasiones hemos manifestado que, para determinar la masa ó peso de un cuerpo celeste, hay que conocer las perturbaciones que en su movimiento causan las atracciones de los cuerpos vecinos; como no se conocían las lunas de

Marte, hubo necesidad de calcular su peso por las perturbaciones que producía en el movimiento de la Tierra y de los pequeños planetas que circulan entre su órbita y la de Júpiter; pero el descubrimiento de los satélites permitió rectificar los cálculos, de los que resulta que Marte pesa nueve veces menos que nuestro globo, de modo que si el número 1000 representa el peso de la Tierra, el de Marte será igual á 105; su densidad, comparada á la del globo terrestre, viene á ser de 0,711.

Como el descubrimiento de las lunas marcias forma uno de los episodios más interesantes de los anales de la astronomía contemporánea, creemos que el lector verá con gusto la relación detallada del descubrimiento efectuado por el profesor Asaph Hall, del Observatorio de Wáshington.

Aunque el problema de las lunas de Marte había cruzado por su imaginación en varias ocasiones, tan sólo pensó en él con detenimiento en la primavera de 1877; en esta circunstancia ocurrieron varias cosas que dieron al asunto mayor interés, y quizás fué una de las principales el descubrimiento, hecho en diciembre de 1876, de una mancha blanca en el globo ó cuerpo de Saturno, que permitió á Hall determinar el período de rotación del planeta, rectificando en este punto los erróneos guarismos estampados en todos los libros de astronomía; esto hizo que Hall dudase de la sentencia que generalmente se encuentra en las obras astronómicas: «Marte no tiene Luna.»

Por otra parte, la favorable oposición del planeta en 1877, naturalmente convidaba á observar. El astrónomo americano empezó sus trabajos investigando lo que en este asunto se había hecho por otros observadores. Las primeras observaciones que discutió fueron las del inmortal Herschel en 1753, que eran de carácter general; pero, desde esta época, ningún astrónomo se ocupó en buscar los satélites de Marte, excepción hecha del profesor Arrest, de Copenhague; este distinguidísimo astrónomo era conocido como observador en extremo hábil y perspicaz, y habiendo sido infructuosas sus investigaciones sobre las lunas marcias, durante la oposición de 1862, llegó á creerse que la existencia de semejantes cuerpos debía relegarse á la categoría de los mitos astronómicos. Sin embargo, las magníficas condiciones del anteojo de Wáshington, inmensamente superior al modesto telescopio de Arrest, dejaban algún hueco á la esperanza, por más que la declinación austral del planeta en aquella oposición era también una circunstancia desfavorable; las probabilidades de éxito parecían hallarse en favor del gran telescopio de Melbourne, en Australia, mejor situado, geográficamente, para este caso particular.

La exploración comenzó á principios de agosto. Al principio llamaron la atención de Hall algunos puntitos brillantes, muy débiles, situados á bastante distancia del planeta, pero todos ellos eran estrellas fijas, pequeñísimas. Examinó luego las regiones más inmediatas al planeta y la parte interior de la atmósfera ó corona luminosa que parece rodearlo; para llevar esto á cabo, había que colocar el anteojo en tal disposición, que el planeta cayera fuera del campo visual, haciendo girar el ocular alrededor del disco de Marte; en la noche del 11 de agosto de 1877 distinguió Hall un objeto muy tenue, situado hacia el Norte del planeta; pero apenas había tenido tiempo de asegurarse de la realidad de su observación, cuando una neblina formada en el río Potomac obscureció

por completo el cielo, neblina que duró varios días. El 15 de agosto se despejó algún tanto, á pesar de que durante las primeras horas de la noche se desencadenó una tormenta, apareciendo Marte trémulo y sin que fuera posible columbrar de nuevo el pequeño cuerpo que, según han demostrado cálculos posteriores, tenía que ser en esta ocasión completamente invisible; el día 16 volvió á verse el satélite, pero al lado opuesto de Marte, y la observación de esta noche demostró que ambos cuerpos estaban animados de un movimiento relativo; á la noche siguiente, cuando el incansable Hall aguardaba que apareciera el cuerpo desconocido, descubrió el otro satélite interior, y las observaciones de los días 17 y 18 demostraron con toda evidencia el carácter de estos objetos, anunciándose por el almirante Rodger al mundo entero el descubrimiento de los dos satélites de Marte.

Durante varios días la existencia del satélite interior fué un verdadero enigma, pues en una misma noche aparecía en diversos y opuestos lados del planeta, llegando á creer el ilustre astrónomo americano que serían tres ó cuatro lunas distintas, pues le parecía imposible que un único satélite pudiese girar en torno del cuerpo central ó primario en menos tiempo del que éste necesita para dar una vuelta sobre su eje. Para esclarecer este punto, observó cuidadosamente durante las noches del 21 y 22 de agosto el pequeño cuerpo, y vió que era en efecto una sola luna interior la que efectuaba su revolución en torno del cuerpo primario en la tercera parte del tiempo que éste necesitaba para completar su rotación, fenómeno único en el sistema solar.

Los satélites fueron observados por Hall hasta el 31 de octubre, pudiendo calcularse sus órbitas valiéndose sólo de las observaciones hechas en Wáshington; en el Observatorio de Haward también se distinguieron los satélites con el hermoso antejo de 38 centímetros de abertura que posee el establecimiento; en Europa tan sólo llegó á distinguirse el satélite externo, pues el interior, aunque es el más brillante, es también mucho más difícil de percibir, á causa de su proximidad al cuerpo principal.

El profesor americano Pickering llevó á cabo una delicada serie de medidas fotométricas sobre el brillo respectivo de cada una de estas lunas, de las cuales resulta que el satélite externo tiene unos 9.700 metros de diámetro y 11.300 el interior; pero estas determinaciones son sólo aproximadas, y no puede tenerse en ellas una completa confianza.

Ambas lunas se encuentran siempre envueltas en el resplandor luminoso ó aureola que rodea al planeta; de modo que el mejor medio que pudiera emplearse quizás para determinar sus magnitudes aparentes, sería el propuesto por el astrónomo inglés Erck, y que consiste en comparar el satélite con una estrella que se halle á igual distancia del planeta, y luego, cuando éste se haya separado un espacio angular suficiente, determinar por los métodos conocidos la magnitud de la estrella; pero, aun en este caso, tropezamos con la incertidumbre que resulta de comparar una medida fotométrica de un astro luminoso por sí mismo, como la estrella, esto es, una medida de magnitud, con el diámetro de un cuerpo que brilla con luz reflejada.

Admitiendo que el satélite externo tenga un diámetro de 9.600 metros, el ángulo que subtendería su diámetro el 26 de septiembre, cuando lo vió Erk, se-

ría de 32 centésimas de segundo; á la distancia de nuestra propia Luna, este ángulo de $0'',32$ correspondería á una distancia de 57 metros en la superficie de nuestro satélite; por lo tanto, la proposición de un astrónomo alemán de establecer en las llanuras de la Siberia un sistema de señales luminosas para ponernos en correspondencia con los habitantes de la Luna, no es un proyecto tan disparatado como desde este punto de vista pudiera creerse.

De las observaciones de Hall resulta que ambos satélites se mueven casi en el mismo plano del ecuador de Marte, y que sus órbitas son sensiblemente circulares. El satélite externo gira en torno del cuerpo primario en $30^h 18^m$ de tiempo marcial, y el interno en $7^h 39^m 30^s$.

La distancia angular del primero al centro de Marte, tomando como unidad la distancia que hay de este planeta á la Tierra, es igual á $32'',2$ y la del satélite interior $13'',0$. La masa de Marte que resulta de los períodos anteriores y de la distancia del planeta externo, que es el que se conoce con más exactitud, es igual á $\frac{1}{3054}$, número bastante aproximado á la verdad. Adoptando como valor angular del diámetro de Marte $9'',328$ y suponiendo que la distancia de la Tierra al Sol sea igual á 37.416.000 leguas, hallamos que el diámetro de Marte es igual á 1.689 leguas, resultado muy semejante al que ya habían obtenido los astrónomos antes del descubrimiento de los satélites; la distancia media á que está situada la luna exterior de la superficie del planeta equivale á unas 5.000 leguas y la de la interior á unas 1.500 leguas.

Varios astrónomos, fundándose en las analogías que ofrece Marte con la Tierra, habían supuesto que el planeta estuviese dotado de uno ó más satélites; no consideraban como argumento decisivo que no se hubiesen visto jamás, puesto que el segundo satélite de Júpiter es tan sólo como $\frac{1}{18}$ del diámetro del cuerpo primario, y un satélite de Marte que tuviese un tamaño proporcionado al que le correspondía á su primario, habría de tener menos de 35 leguas de diámetro, y por lo tanto, sería muy difícil de percibir, aun con nuestros mejores telescopios; esto, sin contar con que también podría hallarse muy próximo al planeta. «El descubrimiento de uno de los satélites de Saturno, que tuvo lugar hace pocos años, nos demuestra que hay grandes probabilidades de que pueda pronto descubrirse algún satélite marcial.» Esto escribía á principios de 1877 el astrónomo inglés Chambers; pero lo verdaderamente notable es que, hace 130 y 180 años, dos famosos autores, Voltaire y Swift, hablasen de los satélites de Marte en los términos claros y precisos que va á ver el lector.

Swift, en los *Viajes de Gulliver*, al referir la excursión de su héroe á Laputu y los conocimientos astronómicos y matemáticos de los habitantes de la misteriosa isla aérea, dice que *habían descubierto dos estrellas menores ó satélites, que giraban alrededor de Marte; que la más próxima distaba del centro del planeta primario exactamente tres de sus diámetros, y la exterior, cinco; la primera gira en el espacio en 10 horas y la última en 21 horas y media, así que los cuadrados de sus tiempos periódicos están casi en la misma proporción que los cubos de sus distancias al centro de Marte, lo cual muestra con toda evidencia que están regidos por la misma ley de gravitación que obra en todos los demás cuerpos celestes.*

Voltaire, en su célebre viaje de Micromegas, en el capítulo tercero, cuando los habitantes de Sirio y de Saturno se dirigen desde Júpiter hacia la Tierra,

dice: *Al salir de Júpiter, atravesaron un espacio de cerca de cien millones de leguas y costearon el planeta Marte, que, como es sabido, es cinco veces más pequeño que nuestro globo; vieron dos lunas que sirven á este planeta y que han escapado á las miradas de los astrónomos. Yo bien sé que el Padre Castel escribirá, y con donaire, contra la existencia de estas dos lunas; pero me refiero á los que razonan por analogía; estos buenos filósofos saben cuán difícil sería que Marte, que tan lejos se halla del Sol, dejase de tener siquiera dos lunas.*

Los pasajes que acabamos de transcribir demuestran, sin duda alguna, que sus autores estaban dotados de una poderosa fantasía; pero considerados con detenimiento, bien se echa de ver que la base de sus ensueños de adivinación se encuentra, como siempre, en la verdadera ciencia.

Estos satélites han sido bautizados con los nombres de *Deimos*, el Terror, y *Fobos*, la Fuga, que corresponden á las denominaciones de los caballos que conducen el carro de Marte, según refiere Homero en el libro XV de su *Iliada*:

«Dijo así, y al Terror y Fuga manda
que los caballos unzan; y él se viste
de refulgentes armas. Ya los dioses
iban á renovar con mayor fuego
la cólera y furor del grande Jove. ...»

Para estudiar con algún fruto la geografía marcial es preciso valerse de anteojos muy buenos y que tengan siquiera 10 centímetros de diámetro; con instrumentos de menor abertura, los resultados que se obtengan serán muy inciertos.

Al examinar la superficie de Marte, se observa, en primer lugar, un tinte rojizo general, que cubre toda la faz del planeta, y en este fondo gran número de manchas oscuras y brillantes, de resplandor y tono muy diversos. Las partes brillantes, menos en dos puntos casi diametralmente opuestos, conservan el tono rojizo característico, al paso que las oscuras se manifiestan de color verdoso. En todo el contorno de la periferia parece el disco más luminoso que en la parte central, así que las manchas oscuras se desvanecen hacia los bordes. También en los dos puntos indicados, que no se encuentran en la extremidad de un mismo diámetro, se perciben dos manchas de extensión desigual y variable, de gran blancura, que contrasta con el tono cobrizo de las demás regiones; estas dos manchas indican aproximadamente el sitio que ocupan los polos de Marte.

Dicen Beer y Maedler que siempre que es posible percibir distintamente las manchas polares, aparecen de un color blanco, brillante y puro, que en nada se asemeja al tono de las demás partes del planeta; en una ocasión, se vió la mancha polar á través de una nube que cubría todo el planeta; Arago también creía que el brillo de las manchas polares era muy superior al de las demás.

Hasta el año 1877 todos los observadores, entre los cuales hay que citar los nombres ilustres de Cassini, Maraldi, Schroeter, Herschel, Secchi y otros muchos, consideraban que los accidentes de la superficie del planeta eran en parte variables y en parte permanentes; estas últimas conservaban sus principales contornos, según se demostraba por numerosas y delicadas observaciones, muy difíciles de ejecutar, entre otros motivos, por el movimiento de rotación del plane-

ta, que las transporta en un corto período de tiempo del uno al otro borde, por manera que su aspecto cambia constantemente. En la fig. 159 son muy sensibles las modificaciones que presenta el disco, á pesar de que los intervalos transcurridos entre cada observación son tan sólo de 60 y de 80 minutos. En muchas ocasiones era en extremo difícil reconocer las manchas dibujadas por los astrónomos anteriores, y aun un mismo astrónomo no acertaba á concertar sus propios dibujos hechos en épocas diferentes. Otras veces, por el contrario, era grande la concordancia.

Para explicar estas contradicciones se aducían dos razones principales; en primer lugar, se concibe, sin esfuerzo, la alteración que la perspectiva produce en los objetos situados en la superficie de una esfera, puesto que el movimiento de rotación hace que unas veces se les vea de frente y otras oblicuamente, se-

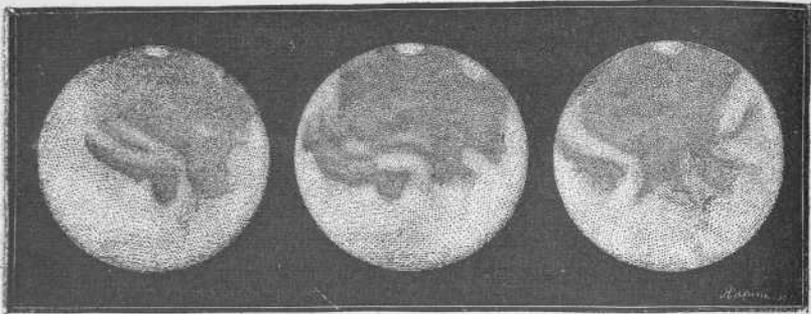


Fig. 159. — Movimiento de las manchas de Marte: aspectos diversos del disco marcial

gún que se encuentran en el centro del disco ó hacia los bordes, en cuyo último caso han de aparecer muy deformados; además, debemos tener presente que la inclinación considerable del eje del planeta ha de producir también un efecto semejante. En las oposiciones se presentan á la Tierra los polos y otras regiones de Marte bajo diversas inclinaciones, por manera que á las deformaciones aparentes en longitud se agregan también las deformaciones en latitud. Esta primera causa de incertidumbre puede eliminarse fácilmente, como en efecto se elimina, por una discusión geométrica de los aspectos de las manchas en diversas épocas; pero hay otra causa, puramente física, de la cual no es posible prescindir, y que proviene de los cambios reales ocurridos en la superficie de Marte ó en su atmósfera, que alteran por completo el contorno de las manchas oscuras y brillantes del disco.

Las variaciones que ofrece el aspecto de Marte se explican, pues, satisfactoriamente, admitiendo la existencia de una atmósfera que envuelva al planeta por completo, del propio modo que la atmósfera terrestre rodea al globo que habitamos, en la cual se reproduzcan nubes y neblinas iguales ó análogas á las nuestras. Juzgando por la semejanza que ofrece el globo de Marte y su atmósfera con la Tierra y su envoltura gaseosa, podemos considerar que la composición de los vapores que rodean á Marte no es siempre idéntica en todos los lugares de

la superficie del planeta, ni tampoco en todas las estaciones, ni en todos los años. Así, pues, para dibujar las manchas y accidentes del suelo marcial, es preciso que la atmósfera esté despejada en el planeta, que la noche sea hermosa y tranquila en la Tierra y que concurren además las otras circunstancias favorables de distancia, declinación y perspectiva; también hemos de recordar que no es posible observar el planeta durante un año marcial completo, sino en distintas estaciones de diversos años, y, por último, que cuando Marte se encuentra en oposición, en el solsticio de cualquiera de sus hemisferios, dista de nosotros una cantidad doble de la correspondiente al solsticio del otro hemisferio.

A pesar de estas dificultades, han podido los astrónomos, como hemos visto,

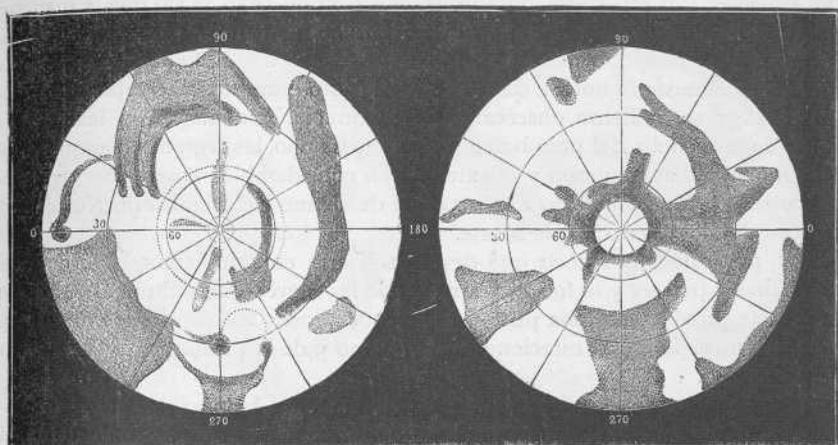


Fig. 160. — Mapamundi de Marte proyectado sobre el plano del ecuador, según las observaciones de Beer y Maedler

obtener gran número de dibujos del planeta, en todas situaciones y bajo ángulos de iluminación muy diversos.

El estudio de la superficie de Marte, de sus manchas oscuras ó brillantes, de las variaciones que algunas de ellas experimentan en su forma y esplendor, y la permanencia de otras, han suministrado, como acabamos de hacer notar, indicios en extremo interesantes sobre la constitución física de este planeta, que es el que mejor se conoce de toda la falange ó corte solar, al menos en cuanto á su superficie, siendo el que presenta mayor semejanza con la Tierra.

Conviene los astrónomos en creer que las manchas rojizas y brillantes de Marte corresponden á los continentes ó partes sólidas de su suelo, mientras que las manchas oscuras, azuladas ó verdosas, forman las partes líquidas ó mares; esta distinción se funda en la reflexión desigual de la luz, producida por las tierras ó las aguas; éstas, como absorben una proporción notable de rayos luminosos, deben reflejar una cantidad de luz menor y parecer oscuras al lado de las tierras. Según la opinión de Lockyer, si se admite que las manchas oscuras sean mares, hay que suponer que las más sombrías se encuentran rodeadas por las tierras, si no en totalidad, en una gran parte al menos.

Los trabajos de dos astrónomos alemanes, Beer y Maedler, tantas veces citados, nos permiten que presentemos aquí (figs. 160 y 161) los hemisferios de Marte vistos en dos situaciones diferentes, proyectados sobre el plano del ecuador y sobre un meridiano.

Las manchas polares se distinguen de las demás por su deslumbradora blancura; pero no es este el único carácter que puede servir para reconocerlas, pues to que su variabilidad es también muy significativa; por una circunstancia singular, á medida que disminuye la mancha blanca de uno de los polos, crece la otra progresivamente, de modo que el mínimo de cada una de ellas corresponden siempre al verano y el máximo al invierno del hemisferio en que se encuentran situadas. Por esta causa, durante la oposición de 1830 se vió que la mancha blanca del polo austral disminuía poco á poco, estrechándose sus límites hasta la época que correspondía, en este hemisferio marcial, á la mitad del mes de julio de nuestro hemisferio boreal; desde este momento empezó á aumentar de tamaño. En 1837 se pudieron observar unas disminuciones análogas en las dimensiones de la mancha del polo boreal; al mismo tiempo, las regiones blanquecinas del polo austral aumentaron y se extendieron considerablemente; estas variaciones correspondían asimismo á la estación de verano del hemisferio Norte y al invierno del hemisferio Sur de Marte.

Así, pues, podemos decir que desde la Tierra contemplamos la formación de los hielos polares y la fusión y arrastre de las nieves que cubren el suelo de un planeta próximo; en una palabra, asistimos á todas las vicisitudes de frío y de calor que separan las estaciones del invierno y de la primavera, y del otoño y del invierno.

Hemos dicho que no presentan las dos manchas blancas una igual extensión, ya durante sus inviernos, ora en las épocas de sus veranos respectivos; el casquete de nieve del hemisferio austral varía en límites más extensos que el del hemisferio opuesto; en su estación invernal presenta una extensión considerable, al paso que disminuye, hasta el punto de ser casi invisible, durante los calores del estío, pues sólo presenta un área que viene á ser como la quinta parte de la que exhibe la otra mancha blanca del polo boreal. Esta diferencia se explica fácilmente teniendo en cuenta la inclinación del eje del planeta sobre el plano de su órbita, puesto que el polo austral de Marte es el que se dirige hacia el Sol cuando el astro se encuentra á sus distancias mínimas del foco de luz y de calor. En el polo boreal, por el contrario, la época del calor coincide con sus distancias máximas; cierto es que estas alternativas en la temperatura se compensan en parte en el curso de una revolución; pero, sin embargo, subsisten estos extremos de calor y de frío.

El análisis espectral demuestra asimismo que Marte está rodeado de una atmósfera análoga á la de la Tierra; en la segunda parte de esta obra, que está dedicada al estudio espectral de los cuerpos celestes y de las principales sustancias de nuestro globo, presentaremos las últimas observaciones que sobre este punto interesante de la astronomía se han llevado á cabo recientemente; pero mientras tanto, daremos cuenta de lo que revela la observación efectuada por los antiguos medios.

Cassini fué el primero que atribuyó á Marte una atmósfera de dimensiones

considerables; hoy día, sin embargo, no se cree que la envoltura gaseosa del planeta sea tan extensa, concediéndole en cambio gran densidad; South, astrónomo inglés, que prestó gran atención á este asunto, afirma que en una ocasión vió que una estrella que se hallaba en contacto con el planeta no sufrió modificación alguna; otra vez fué la ocultación de dos estrellas la que observó, y también sin resultado, de modo que estas observaciones son contrarias á las de Cassini, el cual refiere que una vez la estrella *psi* de Acuario, en octubre de 1672, desapareció cuando distaba 6' aún del borde del planeta.

Pero como siempre que se trata de la discusión de algún problema de astronomía física, como hoy se dice, tenemos que acudir á los trabajos y observacio-

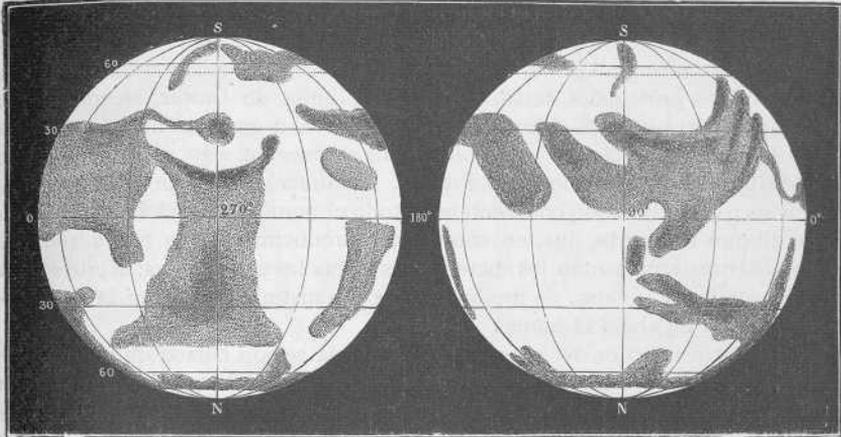


Fig. 161. — Mapamundi de Marte proyectado sobre un meridiano, según las observaciones de Beer y Maedler

nes de los incansables Beer y Maedler, que á este respecto dicen así en sus *Fragmentos sobre los cuerpos celestes*:

«Las diferencias que hemos notado en las manchas blancas polares, variables con las estaciones, concuerdan perfectamente con la hipótesis que consiste en suponer que se hallan formadas por un *precipitado* análogo al de nuestra nieve; y es, en efecto, casi imposible rechazar una suposición que de tan sorprendente manera se confirma. Nuestra Tierra, vista á la distancia de un planeta, debe presentar fenómenos semejantes, con la única diferencia de que hay cierta desigualdad en las relaciones de ambos hemisferios.

»Las otras manchas del planeta parece, por sus caracteres esenciales, que han de pertenecer á las partes constantes de su superficie. Dada la posición y distancia del globo marcial, no sería posible, bajo ninguna condición imaginable, distinguir las sombras producidas por las montañas, por gigantescas que éstas fuesen; los tonos observados son, pues, diferencias en la reflexión de la luz y provienen de iguales causas que los fenómenos análogos que observamos en la Tierra; y aunque estas manchas no parecen, en sí mismas, semejantes á nuestras

nubes, sin embargo, podemos observar que presentan ciertos efectos ópticos que hacen recordar la condensación de las nubes terrestres; en el verano son más marcadas é intensas, y en el invierno más pálidas, más confusas, menos acentuadas en sus formas.»

Los trabajos de Beer y Maedler son del año 1837, esto es, bastante antiguos. Después de esta fecha, se dedicaron al estudio de la superficie marcial, con objeto de construir buenos mapas, en los que se representasen todos los detalles posibles, gran número de astrónomos distinguidos, entre ellos Secchi, Lockyer y Dawes.

Este último observador, cuya penetrante vista hizo que lo llamaran sus compatriotas los ingleses el astrónomo de la *vista de águila*, llegó á obtener tan copiosa cantidad de dibujos, que se creyó posible construir una esfera marcial; es verdad que el profesor Phillips, valiéndose de los dibujos de Lockyer, había antes construído dos globos de esta clase, en los que se encontraban indicados únicamente los principales detalles; pero los dibujos de Dawes, siendo mucho más exactos, permitían, si se comparaban entre sí con gran cuidado, formar una esfera del planeta en la que no hubiese ninguna región algo considerable que no se hallase cuajada de detalles. Proctor, astrónomo inglés de gran popularidad en su país y conocido con ventaja en todo el mundo, recibió de Dawes veintisiete dibujos de Marte, que, en conjunto, reproducimos en la figura 162; las partes oscuras representan los mares, y las claras los continentes; la proyección es estereográfica é inversa, de modo que el polo austral aparece en la parte superior, y en la de abajo el boreal.

En la parte superior del mapa se distingue la región helada que corresponde al polo austral del planeta y á su alrededor corre un mar; á lo largo de la zona austral templada se ven varias tierras que se llaman de Cassini, Lockyer y otros astrónomos famosos. Estas regiones parecen formar como un cinturón de substancia sólida alrededor de la zona templada, si bien en este punto reina alguna incertidumbre, pues á menudo se distinguen con suma dificultad los perfiles de la costa.

Sigue luego una parte del mapa que se conoce perfectamente, gracias á la permanencia de las manchas; inmediato al círculo de tierra que acabamos de describir hay otro anillo de agua, reuniéndose los continentes ecuatoriales de Marte con la zona austral, por una estrechísima lengua de tierra.

La mitad superior de Marte no había sido tan completamente examinada como la inferior, por una razón que vamos á presentar más adelante; sin embargo, se conocía de ella lo suficiente para poderla comparar al hemisferio austral; próxima á la zona de los continentes ecuatoriales hay una zona de agua que se extiende desde el mar de la Osa hasta el mar de Tycho; viene luego una zona de tierra llamada de Laplace, en cuyo centro se halla el inmenso lago ó mar interior de Delambre, y pasando por el angosto mar de Schroeter llegamos al casquete de hielo del polo Norte.

Hemos hablado de las manchas de Marte, en el supuesto de que representan real y efectivamente porciones de tierra y de agua; pero alguno de nuestros lectores podría preguntarnos, y con razón, qué motivos tenemos para suponer que las manchas rojizas sean islas ó continentes, y las verdosas mares, océanos y la-

gos. Sabemos que mucho tiempo después del invento del antejo, llamaban los astrónomos mares á las porciones oscuras de la Luna, y nosotros mismos, en el estudio que hicimos de nuestro satélite, dimos á ciertas regiones los nombres de mar de las Crisis, de los Humores, de las Tempestades, etc., etc., y hoy día sabemos con toda seguridad que en estos inmensos océanos no hay ni una sola gota de agua. ¿No podría suceder lo mismo con las manchas oscuras de Marte? ¿Qué pruebas podemos obtener para convencernos de la realidad de estos mares?

A primera vista parece este un problema casi insoluble; los telescopios más poderosos que se han dirigido á la Luna nos han revelado bien poca cosa acer-

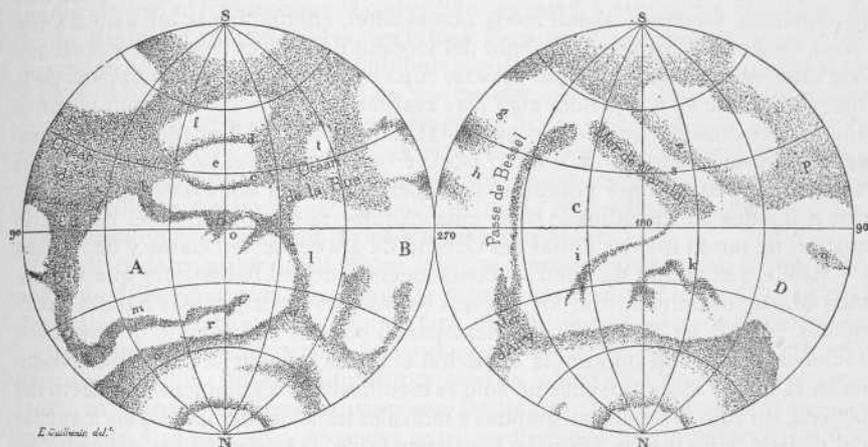


Fig. 162. - Carta de Marte en proyección estereográfica, trazada por Proctor según los dibujos de Dawes

ca de las condiciones de su superficie; por lo tanto, Marte, que aun en las circunstancias más favorables dista de nosotros más de 160 veces el espacio que nos separa de nuestro satélite, poco ha de enseñarnos relativo á la naturaleza de su suelo; pero debemos hacer entre Marte y nuestro satélite una distinción importantísima; el suelo lunar es siempre el mismo, y á despecho de las considerables y bruscas alternativas de temperatura que sufre, no se observa en su desolada superficie el menor cambio ni modificación; pero en Marte varía el caso por completo, pues sea la que quiera la opinión que tengamos formada de los procesos marciales, y ya supongamos que Marte sea ó no mansión y asiento de vida animal elevada ó inferior, es indudable que en este mundo lejano tienen lugar grandes cambios físicos, de los cuales poseemos amplios testimonios.

Hemos dicho que las configuraciones de Marte son permanentes, puesto que los objetos vistos y dibujados por Hooke en 1666, por Maraldi en 1720, por Herschel en 1780, por Beer y Maedler en 1830-1837 y por Dawes en 1852-1865, se hallan aún presentes á nuestra vista, por más que no siempre son visibles, aunque Marte vuelva hacia nosotros el hemisferio en que se hallen situados, por-

que á veces se extiende sobre ellos un velo durante varias horas, pero que en nada perjudica á la claridad general de los accidentes marciales; esto pudiera deberse á una atmósfera mucho más densa que la nuestra, pues si bien algunas manchas desaparecen por completo por breves horas, las inmediatas brillan mientras tanto con toda su fuerza.

El 3 de octubre de 1862 observó Lockyer el planeta á una hora algo avanzada de la tarde, y notó que una parte del Océano de Dawes, en la región fronteriza al continente de Herschel, se hallaba incompleta, siendo invisibles ciertos detalles; en lugar del aspecto obscuro que por lo común presenta esta región, se distinguía una zona débilmente iluminada y de contornos mal dibujados; á medida que avanzaba la noche, observó que los perfiles se hacían cada vez más perceptibles, y cuando abandonó la observación, continuaba la luz blanca y brillante velando en parte el contorno del Océano de Dawes. Aquella misma noche observó también el famoso Dawes, cuyo nombre llevan tantos objetos de la superficie marcial, á una hora algo más avanzada, y pudo notar, según luego se vió por sus dibujos, que el velo que cubría los detalles del planeta siguió desvaneciéndose, como había notado Lockyer anteriormente; los restos de la luz débil observada por éste último, se percibieron también por Dawes, pues aparecen marcados en sus dibujos; pero, cosa extraña, se distinguen en el hemisferio austral, de modo que las costas del Océano de Dawes se ven claras y depejadas.

Este era el estado de nuestros conocimientos acerca del aspecto que presentaba Marte, examinado con los mejores telescopios y por los más hábiles astrónomos, cuando en 1882 el ilustre Schiaparelli publicó el resultado de sus observaciones, efectuadas durante la oposición ocurrida en aquella fecha, que produjeron el mayor asombro; pues no sólo se modificaba por completo el aspecto del planeta, no sólo se señalaban grandes y radicales transformaciones en las manchas del planeta, sino que se afirmaba la existencia de unos accidentes enigmáticos, de unas líneas largas y rectas, que recibieron el nombre de canales. Regiones que medían miles de leguas cuadradas y que se ofrecían á nuestra vista de color claro y que, por lo tanto, recibían el nombre de tierras, aparecían ahora oscuras y como convertidas en mares; por el contrario, algunos mares se han quedado en seco, esto es, algunas regiones oscuras se han vuelto claras, cambios que demuestran que la causa productora de las manchas es móvil y se extiende por todo el planeta.

Los canales van de una á otra mancha oscura y forman con sus líneas negras, sobre el fondo claro, un dibujo poligonal; parecen invariables y permanentes, aunque cambia su visibilidad, según las circunstancias; á veces se ven con toda distinción, como un trazo de pluma; pero en ocasiones se presentan borrosos; los hay rectos y curvos, y se cruzan perpendicularmente y formando ángulos; su anchura viene á ser de 2° , lo que corresponde á 120 kilómetros, y su longitud, según un círculo máximo de la esfera, llega á ser de cerca de 5.000 kilómetros; todos empiezan y terminan en los mares, ó en los mismos canales, sin que se registre un solo ejemplo de que se detengan en medio de la tierra firme.

Como si no fueran bastantes estas maravillas, agregaba Schiaparelli en su comunicación que los canales se veían á veces duplicados ó dobles, produciéndose este fenómeno simultáneamente en toda la superficie del planeta. Algo

análogo creyó observar en un solo canal en 1879, pero la confirmación del fenómeno y su extensión á muchos casos no la halló hasta 1881. En ocasiones preceden al desdoblamiento algunos síntomas, como sombras vagas y mal definidas.

Todo observador prudente, cuando nota algo extraordinario y que se aparta considerablemente de lo admitido y aceptado, empieza por dudar de lo que ha visto, atribuyéndolo, de preferencia, á errores personales y á fenómenos subjetivos; y sólo después de análisis detenido y de persistir las manifestaciones extraordinarias es cuando el observador se decide á aceptar su existencia y á publicar el resultado de sus investigaciones. Esto le ocurrió al Sr. Schiaparelli, que atribuyó al principio el desdoblamiento de los canales á una ilusión de la vista, producida por el cansancio y la aplicación excesiva, y también á un efecto de óptica, debido al aumento del poder visual. Pero repetidas observaciones le demostraron la realidad de su descubrimiento; llamar desdoblamiento ó duplicación al fenómeno que se observa en los canales, no es del todo exacto, puesto que el primitivo canal permanece inalterable; lo que ocurre es que, á su lado, bien á la derecha ó á la izquierda, se forma otra línea igual y paralela á la primera, distando de ella de seis á doce grados, por término medio, que vienen á ser de 350 á 700 kilómetros; su color es pardo rojizo bastante obscuro, y el paralelismo de una exactitud rigurosa en muchos casos.

Fácil es de comprender el efecto que los descubrimientos del ilustre astrónomo de Milán causaron en el mundo astronómico; sólo el respeto debido al autor de tantos trabajos importantes hizo que no se rechazaran por completo, no concediéndoles verdadera importancia y suponiéndolos únicamente errores é ilusiones. Así que, los astrónomos que poseían anteojos adecuados se apresuraron, en cuanto volvieron las ocasiones favorables para observar el planeta, á consagrarse á su estudio, y entonces se comprobaron la mayor parte de los descubrimientos de Schiaparelli; pero también aumentaron las dudas y confusiones, pues mientras con mayor esmero se estudiaba el aspecto del planeta, tanto más enigmático se presentaba y mayores eran las modificaciones que ofrecía á cada nuevo examen. Así, por ejemplo, desde la época indicada hasta 1888, aprovechando los astrónomos las oposiciones favorables de Marte, pudieron comprobar que en algunas regiones del planeta los cambios eran poco sensibles, pero en otras considerables. M. Perrotin, con el gran anteojo del Observatorio de Niza, comprobó la desaparición de un continente entero, que se extendía antes á ambos lados del ecuador, de forma casi triangular; dos años antes, esto es, en 1886, era perfectamente visible, pero el *mar* próximo lo inundó, cambiando el tono rojizo de los continentes por el obscuro, negro ó azul fuerte, que caracteriza las grandes manchas de agua; esta región ofrecía una superficie comparable con la de la península ibérica. Además, al Norte del continente sumergido ó desaparecido se veía un canal nuevo, no señalado en la carta de Schiaparelli, al cual no pudo escapársele, pues tenía dibujados otros mucho más tenues. Era su largo de unos 20° y su ancho de 1° ó de 1,5, y ponía en comunicación otro canal antiguo con el mar. La tercera novedad consistía en otro canal situado en el casquete polar boreal, que enlazaba en línea recta, y atravesando los hielos, dos mares inmediatos al polo; su longitud era de 30°.

Estimulado el ardor de los astrónomos con estas maravillas, se dirigían los telescopios más poderosos del mundo hacia el enigmático astro, en todas las ocasiones favorables. Sería cansado para el lector que le presentáramos minuciosamente descritos todos los detalles y particularidades observadas; sólo entresacamos de los trabajos publicados aquello que nos parece más interesante y digno

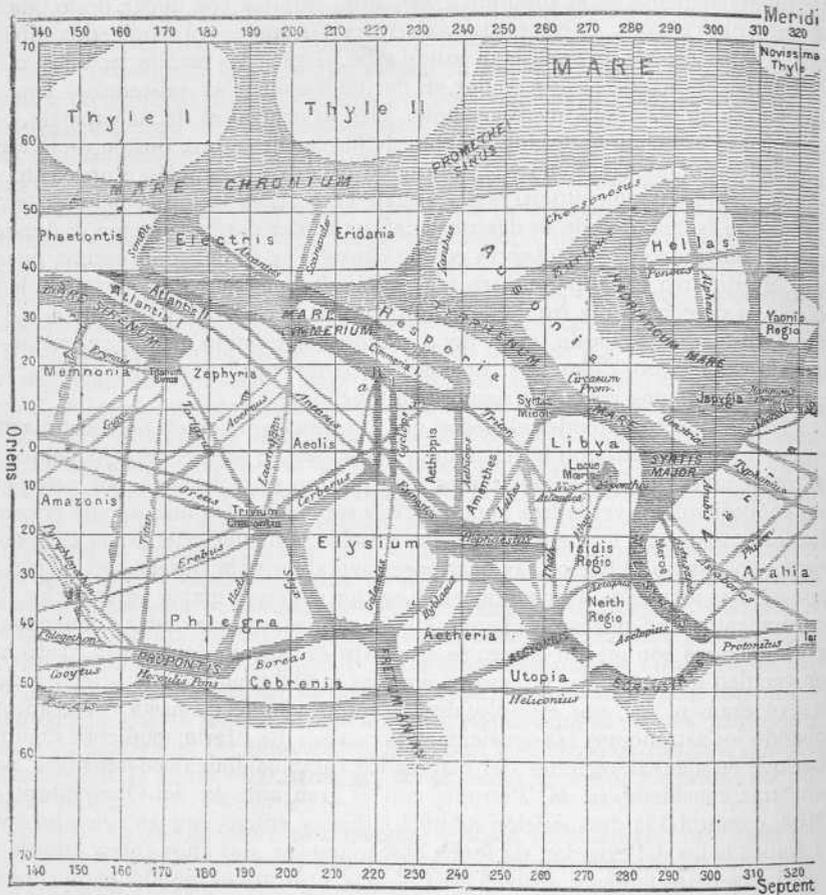


Fig. 163. — Mapa de los canales dobles de Marte: observaciones de Schiaparelli de 1882 á 1886 (Primera mitad)

de confianza por el renombre de sus autores; procurando, en nuestra selección, establecer una especie de juicio contradictorio.

Algunos escépticos emitieron la idea de que muchos de estos fenómenos pudieran deberse exclusivamente á modificaciones de la atmósfera marcial, á la formación de nubes y nieblas que temporalmente ocultasen ciertas regiones del planeta; pero el Sr. Pickering, tan ventajosamente conocido, afirmó que, en efec-

to, hay nubes en Marte, que difieren, sin embargo, de las terrestres, principalmente en lo relativo á su densidad y blancura, y que no cabe confundir con ellas los casquetes polares, que ofrecen aspecto muy distinto. Sus observaciones de 1892 le demostraron que hay dos regiones oscuras permanentes, que en circunstancias favorables aparecen azules, y que, á su juicio, se deben verosímil-

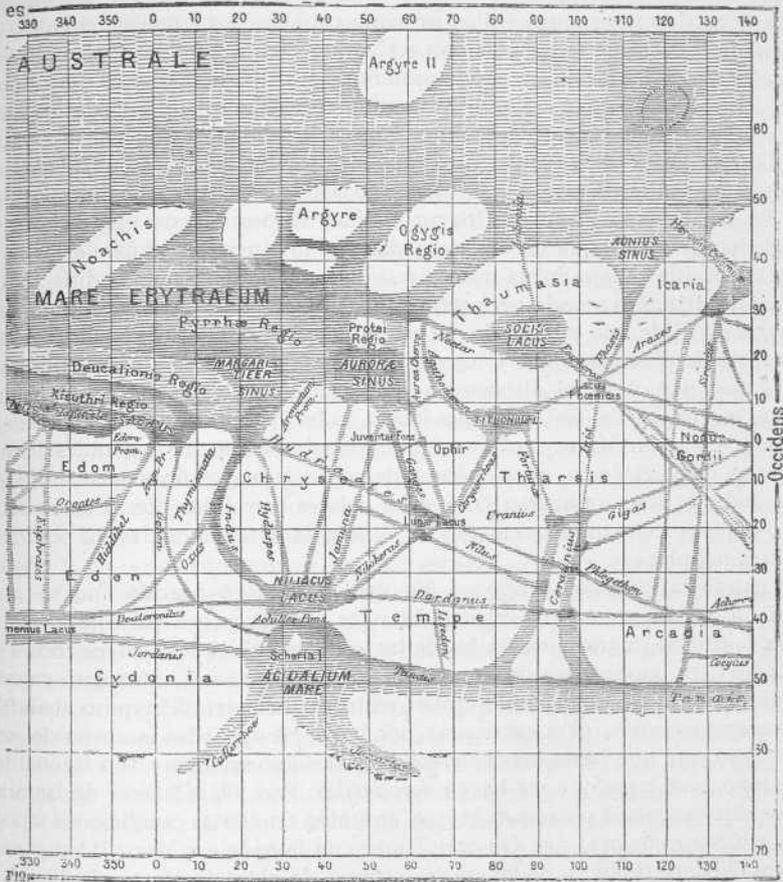


Fig. 163. - Mapa de los canales dobles de Marte: observaciones de Schiaparelli de 1882 á 1886 (Segunda mitad)

mente al agua. El tono de otras regiones sombreadas es verdoso, aunque á veces aparecen sin color alguno; no faltan manchas marcadamente verdes, sobre todo cerca de los polos, viéndose cruzadas unas y otras por líneas oscuras que se empalman, en las que se ven puntos redondos negros de treinta y más kilómetros de diámetro. En 1894, en el mismo Observatorio americano donde trabaja el Sr. Pickering, pero por su propietario el Sr. Lowell se efectuaron tam-

bién cuidadosas observaciones, de las que resultó que el casquete polar austral está indudablemente cubierto de nieve, que al fundirse forma un mar á su alrededor; en este mar se vió un golfo de hermoso color azul. El casquete se hallaba cortado en dos partes por una brecha inmensa que se había abierto poco á poco á través de la nieve, lo cual demostraba la existencia de montañas, siendo la brecha un valle: medía de ancho 350 kilómetros. Parece confirmar esta hipótesis la aparición de unos puntos brillantes como estrellas por aquellas regiones, que deberían ser las cimas de los montes. Cuando eran favorables las condiciones atmosféricas, se veían de un modo admirable los diversos colores del disco; el tono de los continentes era, por lo común, rosa anaranjado y el de los mares azul verdoso, el cual pasaba á azul más puro á la salida del Sol. Este astrónomo no observó nubes de ninguna clase, y parece muy inclinado á admitir la existencia del agua en el planeta, para obtener la cual efectuarían trabajos considerables de canalización y embalse los marcialitas. Pero es el caso que varios astrónomos han indicado que en determinadas circunstancias, el agua de los mares de Marte debía reflejar hacia nosotros la imagen del Sol, que mediría 10 kilómetros de diámetro y sería perfectamente visible desde la Tierra, con un brillo comparable al de una estrella de 3.^a magnitud; precisamente hay una región en Marte, desde el llamado mar Cimeriano hasta el golfo de la Aurora, en que los mares abundan, y en tal disposición, que podrían reflejar á mediodía, hacia la Tierra, la imagen del Sol, cosa que jamás se ha visto, por lo que, lógicamente, se deduce que en Marte no hay tales mares, sino en su lugar grandes llanuras cubiertas de vegetación, cuyo color varía según la mayor ó menor cantidad de humedad que les suministran las nieves polares derretidas por el calor del verano, y que los enigmáticos canales son líneas de terrenos cultivados por los habitantes del planeta.

Cuando tal disparidad ofrecen las observaciones, y cuando uno ve mares donde otro sólo encuentra vegetación, y los canales sirven para llevar agua, ó por el contrario, marcan los límites de los terrenos cultivados, parece locura procurar fijar las condiciones de la vida en Marte. Pero estas dificultades no han arredrado al ilustre Schiaparelli, quien, recientemente, también quiso abandonar sus severos estudios, para entregarse por breve tiempo á las fantasías del soñador. Claro está que hasta los ensueños de este sabio eminente son razonables y presentan caracteres que los hacen verosímiles. Para él, la fusión de las nieves de los dos casquetes polares es la que, en unión de ciertas condiciones topográficas y meteorológicas, rige las condiciones de la vida en Marte. Compara los efectos del derretimiento de las enormes masas de nieve en Marte y la Tierra, encontrando entre ambos planetas enormes y radicales diferencias. En nuestro globo, verbigracia, este fenómeno casi carece de importancia, porque del polo ártico al antártico se extiende el mar, que pone en constante comunicación ambos casquetes, de los que se desprenden las enormes bancas de hielo que se ven flotar en el Océano, llegando á veces hasta cerca del cabo de Buena Esperanza en el hemisferio austral, y no pasando en el boreal á latitudes tan bajas, por derretirlas antes la corriente del Golfo; de modo que el nivel del mar no puede aumentar, porque el efecto de la temperatura es opuesto en cada polo, y si en uno hay fusión, en el otro hay congelación. En Marte no ocurre lo mismo; no hay com-

pensador marítimo, digámoslo así, pues el mar que rodea al polo Sur está por completo separado de los otros mares más pequeños, próximos al polo boreal; de aquí que no pueda establecerse el equilibrio de las masas líquidas de ambos hemisferios sino por el paso de las aguas á través de los continentes interpuestos, por lo que deben atribuirse las variaciones hidrográficas del planeta á las alternativas de fusión y congelación de las nieves alrededor de ambos polos.

Como en Marte no llueve, su irrigación se efectúa por los canales, que son zanjás de escasa profundidad, de muchos miles de kilómetros de largo, rectas y de anchuras que varían de 100 á 200 kilómetros y más. Las diferencias que presentan las estaciones en cada hemisferio son mucho más acentuadas que en la Tierra, pues en ésta los períodos de frío y de calor, de lluvia y de sequía se suceden de un modo regular y simétrico, con intervalos de seis meses. En Marte no es así, y según que la fusión de las nieves polares ocurre en uno ó en otro hemisferio, los efectos resultantes son muy diversos; el polo austral está completamente rodeado de agua, y el suelo, por lo tanto, ha de formar una cuenca profunda; el polo boreal, por el contrario, constituye un continente; al derretirse los hielos en la época del verano austral, ha de subir el nivel del océano, inundándose todas las partes bajas del continente, y en efecto, en esa estación se ve que el tono de todos los mares interiores, los estrechos, los golfos y hasta el océano mismo, es marcadamente más obscuro. La inundación no llega, sin embargo, hasta las tierras interiores. Supone Schiaparelli que los mares pudieran ser salados como los de la Tierra, y las inundaciones periódicas formarían extensas salinas ó servirían para usos que desconocemos; pero no cabría emplearlas para las faenas agrícolas. En cambio, en el hemisferio boreal, la fusión de las nieves acumuladas durante el invierno en el centro del gran continente, produce agua dulce, que se extiende y convierte en un mar temporero un gran espacio de tierra, en las partes elevadas; y en las bajas, una inmensa inundación, perfectamente visible con nuestros grandes telescopios. De modo que, siendo esta agua dulce la única de que pueden hacer uso los habitantes del planeta, el principal problema que han de resolver sus ingenieros ha de ser el de utilizarla en todos los trabajos agrícolas.

Puesto en vena de inventar, considera Schiaparelli que los habitantes de la Tierra gozan de grandes privilegios, puesto que la lluvia cae gratuitamente, y lo mismo se forma la nieve en las montañas, que alimenta los arroyos y ríos, que sin fatiga por parte del hombre, distribuyen las aguas por toda la superficie del globo. Pero en Marte la vida es más dura, pues las nubes son raras, la lluvia nula y no existen fuentes ni manantiales, y todo depende de la gran inundación boreal, siendo de necesidad imprescindible saber utilizar esta agua antes de que vaya á perderse en el mar austral; por eso es menester que los canales no sean tan anchos como nos parecen, pues de serlo, en pocas horas dejarían pasar toda el agua de la inundación; por el contrario, son tan estrechos, que no podemos percibirlos, y lo que tomamos por tales han de ser las zonas de vegetación que se extienden por banda y banda.

El resto de los continentes, de color amarillo, adonde no llega el agua, será por esta causa un desierto. Los valles son tan anchos, que, á juicio de Schiaparelli, su formación se debe á la acción de las fuerzas naturales; pero ciertos detalles que en ellos se advierten, principalmente las *geminaciones* y su extraor-

dinaria regularidad, parecen indicar que son producto de seres humanos, ó al menos inteligentes, pues admitiendo por un instante que no sea así, sino obra de la Naturaleza, á medida que se vayan fundiendo las nieves del polo boreal, se dirigirán al océano, siguiendo el curso de los valles que les presentan el camino más fácil; si el fondo de los valles es cóncavo, se reúne el agua en un cauce bastante estrecho y no se extiende por las vertientes laterales, y no puede, por lo tanto, fertilizarlas, ni producir la vegetación que en ellas advertimos; para que el agua y la vegetación se extiendan en una anchura de ciento ó doscientos kilómetros, es menester que el fondo de los valles sea llano y uniforme; de este modo se explicaría la aparición de las estrías ó canales simples, pero no su duplicación enigmática, pues á veces, en un mismo valle, se ve el riego y la vegetación formando una línea única, ó dos paralelas de anchura variable, entre las cuales queda un espacio estéril ó desprovisto de agua, y aquí es donde encuentra Schiaparelli la necesidad de hacer intervenir la industria de los marcialitas, los cuales, á lo largo de los valles, en las laderas, habrán abierto zanjas á diversas alturas; entre ellas permanece el terreno con su pendiente natural. Al ocurrir la inundación, en vez de correr rápidamente el agua por el valle, entrando por un lado y saliendo por otro, se regulariza su curso por medio de compuertas y diques apropiados, y el agua va subiendo y llenando sucesivamente las zanjas ó canales paralelos; luego se deja pasar el agua de los canales superiores á los inferiores, regando las fajas de terreno intermedias, hasta que satisfechas las necesidades de la agricultura, se da salida al agua sobrante. Con su gran fantasía, se imagina Schiaparelli situado en el hemisferio boreal de Marte, en la estación del verano, cuando la gran inundación alcanza su altura máxima. El ministro de Agricultura (son palabras de Schiaparelli) manda abrir las compuertas de los diques más altos, para llenar de agua los canales correspondientes; la irrigación se extiende entonces por las dos zonas laterales superiores, el valle cambia de color en estas dos zonas y desde la Tierra se percibe una geminación. Cuando ha pasado el tiempo necesario para que el agua produzca su efecto, se abren sucesivamente las esclusas de los canales inferiores. Las diversidades y cambios de las geminaciones y de anchura de los canales, según la fusión estival de las nieves, se explicaría de este modo satisfactoriamente. Puesto en este camino, sigue diciendo Schiaparelli que los ingenieros tendrían buen cuidado de conservar llenos los pantanos ó depósitos para el riego de los jardines y el uso cotidiano de los habitantes, no abriendo las esclusas inferiores sino cuando ya no hubiere ninguna necesidad que satisfacer.

De semejante comunidad de intereses ha de resultar una organización política socialista y una solidaridad universal entre todos los habitantes, que habrán constituido una gran federación de la humanidad, en la que cada valle formará un Estado independiente. El interés de cada uno será el interés de todos; las matemáticas, la meteorología, la física, la hidrografía y ciencias afines se hallarán en alto grado de perfección; serán desconocidas las guerras y las disidencias internacionales, y todos los esfuerzos intelectuales que los hombres terrestres consagran á dañarse mutuamente, los dedicarán los hombres marcialitas á combatir al enemigo común, que es la ingrata Naturaleza....., y todo esto ocurrirá, por que en un polo hay tierras y en el otro agua.

CAPITULO VII

LOS PEQUEÑOS PLANETAS

Su descubrimiento: ley de Titio ó de Bode: estudios generales de los pequeños planetas.
Cómo se descubren los planetoides.

La primera dificultad que hemos hallado al comenzar la redacción de este capítulo ha sido la del epígrafe con que debiéramos encabezarlo; muchos ignoran los quebrantos que sufren los traductores, compiladores ó autores españoles que quieren presentar á sus conciudadanos un cuadro comprensivo de los últimos progresos de la ciencia, exento, en lo posible, de ataques graves á la lengua patria.

Por desgracia nuestra, hace ya mucho tiempo que los estudios sólidos y profundos no encuentran en España cultivadores, y la mayor parte de los buenos ingenios se dedican con preferencia al ameno campo de la literatura: de esto nace que los escasos escritos de ciencia, originales ó traducidos, que de vez en cuando salen á luz, publicados comúnmente por hombres modestos, que sólo se ocupan del fin y objeto de su asunto, ofrecen en su estilo y lenguaje un abandono deplorable; los puristas y literatos critican acerbamente estos descuidos y señalan con airada mano las faltas retóricas, y sobre todo, los galicismos, germanismos y anglicanismos, que tan frecuentes son en las obras científicas; pero nosotros preguntaríamos: cuando un extranjero descubre alguna propiedad nueva de la materia ó algún nuevo aparato y les da un nombre que en nada se acomoda á la estructura del habla castellana, ¿debemos pasar en silencio el descubrimiento, por miedo de infringir alguna vetusta y ociosa regla gramatical?

Esto precisamente nos ocurre con el epígrafe anterior de *pequeños planetas*, de acentuado sabor galicano; mejor sonarían en los oídos de nuestros lectores los nombres de asteroides, planetoides y planetas ultra zodiacales ó telescópicos, pero si bien son más castizos, no expresan con tanta fidelidad la idea astronómica como la denominación de pequeños planetas.

Hecha esta aclaración, continuaremos nuestro estudio, pasando una rápida revista al enjambre de cuerpos celestes descubiertos recientemente entre los planetas Marte y Júpiter.

Hace cerca de tres siglos hizo notar Keplero que, en la progresión de las distancias de los planetas desde el Sol hasta Marte, se advierte cierta regularidad, la cual desaparece al llegar á Júpiter; los eruditos han tratado de averiguar si algún antiquísimo astrónomo no se habría anticipado á Keplero en la adivinación de esta irregularidad, llenando con algún cuerpo el espacio vacío que aparecía entre Marte y el colosal Júpiter. Artemidoro de Efeso sería, si se quiere, este

adivino, pues sostenía, un siglo antes de Jesucristo, que el número de los planetas era infinito, y que la debilidad de nuestra vista y las inmensas distancias que de nosotros los separaban, eran las únicas causas que nos impedían distinguirlos.

Demócrito no era tan atrevido como Artemidoro, y se contenta con decir, según refiere Séneca, que hay muchos más planetas que los que nosotros percibimos.

Kant, á su vez, explicaba por qué no existían entre Marte y Júpiter; en el origen de las cosas, Júpiter había atraído hacia sí toda la materia que debiera engendrar al planeta intermedio; Marte era muy pequeño, y carecía de satélite por una razón análoga, pues una parte de su contingente le fué arrebatada por el colosal Júpiter; este mismo Kant, que de tal modo desbarra en esta cuestión, hizo con la sola potencia de su genio descubrimientos inmortales en la cosmogonía y reparto de los cuerpos celestes en el espacio, con lo cual se prueba una vez más que los mejores espíritus pierden fácilmente el buen rumbo, cuando parten en sus especulaciones de bases inciertas y deleznales.

Bode, que había aceptado otro orden de ideas, anunció en 1742 la relación singular que existe entre las distancias de los planetas al Sol, y que hoy día se conoce con el nombre de ley de Titio; esta ley consiste en escribir una serie de números, en la cual, á partir del tercer término, cada número es duplo del anterior; por ejemplo:

0 3 6 12 24 48 96 192

Agregando el número 4 á cada uno de los ocho términos, obtuvo Titio la nueva serie:

4 7 10 16 28 52 100 196
Mercurio Venus Tierra Marte Júpiter Saturno Urano

en la cual

- 4 representa la distancia de Mercurio al Sol.
- 7 la de Venus.
- 10 la de la Tierra.
- 16 la de Marte.
- 28 no corresponde á ninguna.
- 52 la de Júpiter.
- 100 la de Saturno.

Las verdaderas distancias medias de los planetas al Sol son, en efecto, las siguientes:

| | |
|------------|------------|
| Mercurio. | 0.387.098 |
| Venus. | 9.723.331 |
| La Tierra. | 1.000.000 |
| Marte. | 1.523.691 |
| Júpiter. | 5.202.798 |
| Saturno. | 9.538.852 |
| Urano. | 19.182.730 |
| Neptuno. | 30.036.280 |

Hay que advertir que 196 representa aproximadamente la distancia de Urano, planeta que Titio desconocía. Pero esta ley no da la distancia media de Neptuno al Sol, pues $192 \times 2 + 4$ es igual á 388, número que difiere mucho de 300.

Generalmente, se atribuyen las observaciones sobre las distancias medias de los planetas al Sol á Bode, director del Observatorio de Berlín, que se ocupó mucho de este asunto; pero, según declara él mismo en sus Memorias, la ley que por costumbre se llama de Bode, debe nombrarse ley de Titio; esta pretendida ley se publicó por primera vez en una edición francesa de la obra de Titio, titulada *Contemplaciones de la Naturaleza*, impresa en Vittemberga.

Sea de esto lo que quiera, la laguna que existe entre Marte y Júpiter en la ley de Titio, parecía indicar que uno ó más planetas desconocidos debían circular alrededor del Sol á la distancia 28; esta suposición se confirmó por completo, y en las regiones situadas hacia la distancia 28, admitiendo que la de la Tierra al mismo astro central sea 16, se han encontrado los pequeños planetas descubiertos desde principios del siglo XIX; ya dijimos que, para buscar estos pequeños cuerpos, se formó una sociedad de astrónomos que dividieron el cielo en veinticuatro zonas de exploración.

Acababan de descubrirse los cuatro primeros planetas telescópicos, cuando Herschel se apresuró á observarlos con la asiduidad y perspicacia de que tantas pruebas dió en su brillante y gloriosa carrera, estudiando sus órbitas, magnitudes y constitución física. De sus investigaciones dedujo que los planetas situados entre Marte y Júpiter no merecían, á causa de su escaso volumen, el nombre de planetas, y propuso que se les llamase *asteroides*; un historiador de la Sociedad Real, el doctor Thompson, criticó con acritud esta denominación y llegó hasta suponer que el ilustre astrónomo «había querido arrebatar á los primeros observadores de estos cuerpos la gloria de colocarse en el cielo á tanta altura como él.» Para destruir esta imputación, basta copiar el siguiente pasaje extractado de una Memoria del famoso astrónomo, publicada en las *Transacciones filosóficas* en 1805: «La diferencia específica que existe entre los planetas y los asteroides se halla hoy día plenamente demostrada. Esta circunstancia, en mi opinión, aumenta la belleza y majestad de nuestro sistema en mayor proporción que el descubrimiento aislado de un solo planeta.»

Los 500 pequeños planetas que se conocen hasta la fecha (1900) y cuyo número aumenta de día en día, están todos situados entre Marte y Júpiter, excepción hecha de Eros; las órbitas que describen alrededor del Sol, se encuentran tan próximas entre sí, y de tal modo enlazadas, que un astrónomo ilustre, muerto recientemente, Arrest, cree encontrar en este hecho la prueba de su común origen. En su trabajo sobre *El sistema de los pequeños planetas*, dice que hay un hecho original, que parece confirmar la idea de que entre todos estos cuerpos existe un enlace íntimo; si suponemos que sus órbitas tengan la forma de aros materiales, se encontrarán éstos tan confundidos y ligados entre sí, que se podría, tomando uno de ellos al acaso, levantar todos los demás. En la fecha en que el ilustre astrónomo escribió esas líneas, tan sólo se conocían 14 pequeños planetas, número que desde entonces ha aumentado hasta llegar al que hoy conocemos. La fig. 164 que representa las órbitas de los 108 primeros peque-

ños planetas descubiertos hasta 1869, basta para demostrar lo intrincado del sistema, mucho más completo hoy día, pues como decimos, el número de estos diminutos cuerpos sube á 500, que forman una zona casi circunscrita en las dos mitades del intervalo comprendido entre Marte y Júpiter.

Vamos ahora á enumerar brevemente los nuevos cuerpos celestes que hemos encontrado en nuestro camino, dando á conocer el nombre del descubridor de cada uno de ellos, indicando exactamente la fecha del descubrimiento de los principales, sus elementos elípticos y lo poco que se sabe acerca de sus volúmenes y su constitución física.

CERES. Este planetoides se representa por su símbolo mitológico ó por C encerrado en un círculo, y fué descubierto por Piazzi, en Palermo, el 1.º de enero de 1801. El plano de su órbita está inclinado $10^{\circ} 36' 28''$ sobre el de la eclíptica y da una vuelta alrededor del Sol en 1608,7 días; su movimiento diurno medio es de $771''$.

La distancia media al Sol ó semieje mayor de la órbita es de 2,767 tomando como unidad el radio medio de la órbita terrestre; la distancia afelia es de 2,988 y la del perihelio de 2,546; la excentricidad es igual á 0,0795.

Ceres presenta el aspecto de una estrella de octava magnitud, y su color es algo rojizo; su diámetro real es, según Herschel, de 65 leguas, y según Schroeter de 165 leguas. M. Barnard, utilizando el gran refractor de 91 centímetros del Observatorio de Lick, determinó en 1894 el diámetro de algunos pequeños planetas, fijando el de Ceres en 241 leguas.

En circunstancias favorables puede distinguirse á la simple vista; Schroeter creyó percibir en torno del planeta una atmósfera densa y algo luminosa de gran extensión, á la cual atribuía el diverso brillo que manifiesta el asteroide en varias ocasiones. Herschel afirma que una vez vió dos pequeños satélites en torno de Ceres; pero su masa es tan exigua, que difícilmente puede aceptarse esta observación como verdadera, puesto que los satélites, dado caso que existan, han de ser tan pequeños que pasarían para nosotros completamente inadvertidos.

PALAS. El planetoides Palas fué descubierto por Olbers, en Breda, el 28 de marzo de 1802. La inclinación del plano de su órbita sobre la eclíptica es muy considerable, y llega hasta $34^{\circ} 42' 41''$. La duración de su revolución sidérea es de 1683,5 días, y su movimiento medio diurno de $769'',8$; la distancia media al Sol ó semieje de la órbita es de 2.770; la del perihelio de 2.107 y la del afelio de 3.433.

Su excentricidad es muy grande, pues llega á 0,239.

Cuando Palas se encuentra á su distancia mínima de la Tierra, brilla como una estrella de séptima magnitud, con un hermoso color amarillo; su atmósfera aparece mucho menos marcada que la de Ceres.

Herschel halló como diámetro real de Palas 45 leguas; Schroeter obtuvo nada menos que 765 leguas, y Lamont 246; debemos de hacer notar que estas enormes diferencias entre las dimensiones absolutas, atribuidas por varios astrónomos á los planetas telescópicos, dependen de que se han determinado por observaciones efectuadas con instrumentos muy imperfectos, y en condiciones poco apropiadas, en el mayor número de casos. Según Barnard, el diámetro es de 110 leguas, con un error, en más ó en menos, de 5 leguas.

JUNO. Harding descubrió á Juno en Lilienthal el 1.º de septiembre de 1804; los astrónomos representan este planeta con su símbolo mitológico ó por un 3 ó en un circulito. La inclinación del plano de su órbita sobre el de la eclíptica es de $13^{\circ} 3' 21''$; en 1532,3 días recorre el planeta su órbita, siendo su movimiento diurno medio de $813'',9$. Su distancia media al Sol es de 2.669; la de perihelio de 1.985 y la del afelio de 3.353.

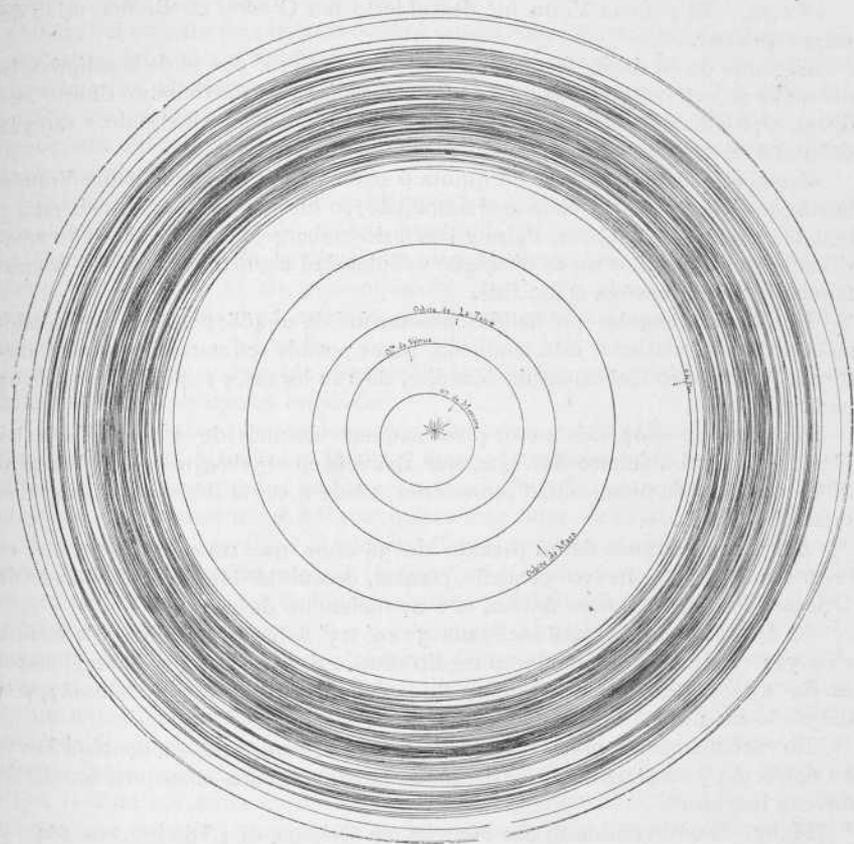


Fig. 164. — Órbitas de los 108 pequeños planetas descubiertos hasta 1869

Juno, lo mismo que Palas, presenta una excentricidad considerable que llega á 0,256; su color es rojizo, y brilla á su menor distancia de la Tierra como una estrella de octava magnitud; parece estar rodeada de una atmósfera muy densa, pero sin nebulosidad. Según Schroeter, presenta variaciones de intensidad muy grandes y rápidas, que hacen suponer que el planeta no es precisamente esférico; pero esta hipótesis no se halla confirmada por la experiencia.

En 1804 se dedicó Herschel con gran asiduidad al estudio de Juno, con objeto principalmente de determinar su diámetro angular; las medidas inmediatas

que tomó se hallan siempre comprendidas entre 2 y 3 décimas de segundo, valor que corresponde á cerca de 1" como diámetro angular del planeta, suponiéndolo á la distancia media de la Tierra al Sol; al paso que los diámetros de Ceres y de Palas, á esta misma distancia media, serían tan sólo, según Herschel también, de 0",35 y 0",24. De las medidas tomadas por Maedler con el famoso refractor de Dorpat, resulta que el diámetro real debiera ser de 146 leguas.

VESTA. El planeta Vesta fué descubierto por Olbers, en Brema, el 29 de marzo de 1807.

El plano de su órbita forma un ángulo de $7^{\circ} 8' 16''$ con el de la eclíptica, la duración de su revolución sidérea es de 1.324 días y su movimiento diurno medio de $978''$; la distancia media al Sol es de 2.361, la del perihelio de 2.149 y la del afelio de 2.574; su excentricidad se representa por 0,09.

Semejante á una estrella de quinta ó sexta magnitud, se distingue Vesta á la simple vista cuando el cielo está despejado; su luz es más intensa, más pura y más blanca que la de Ceres, Palas y Juno; sin embargo, Hind la considera amarillenta; á su alrededor no se distingue nebulosidad alguna que indique la existencia de una atmósfera apreciable.

El diámetro angular que halló Schroeter fué de 0",488; pero no conociéndose la distancia relativa á esta medición, no es posible reducirla á leguas kilométricas; su diámetro real es, según Maedler, de 122 leguas, y según Barnard, de 95 nada más.

En mayo de 1807, dos meses próximamente después de la oposición, halló Herschel que el diámetro de Vesta, que aparecía en el telescopio completamente desprovisto de nebulosidad atmosférica, venía á ser la décima parte del diámetro de Urano.

ASTREA. Después de un período de 38 años, que transcurrió sin que se encontrase ningún nuevo pequeño planeta, descubrió Hencke, aficionado de Driesen, Prusia, el planeta Astrea, el 8 de diciembre de 1845.

La órbita de Astrea está inclinada $5^{\circ} 19' 23''$ sobre la eclíptica, y la recorre en 1.511 días con un movimiento medio diurno, igual á $857''$; el semieje mayor es de 2.576; la excentricidad de 0,189, la distancia del perihelio de 2.087 y la del afelio de 3.066.

En circunstancias muy favorables, cuando el planeta se encuentra á la vez en oposición y en el perihelio, se distingue trabajosamente, como una estrella de novena magnitud.

HEBE. Fué descubierto por Hencke, en Driesen, el 1.º de julio de 1847, y brilla como una estrella de novena magnitud.

IRIS. Se descubrió este planetóide por Hind, en Londres, en 13 de agosto de 1847; su brillo es igual al de una estrella de octava magnitud. Varios astrónomos han observado unos cambios notables en la luz de este planeta, que no pueden atribuirse ni á sus diversas distancias de la Tierra y del Sol, ni á los accidentes de su atmósfera. Se ha supuesto, algo prematuramente, que este planeta no es redondo, y que durante su movimiento de rotación se presenta á la Tierra, ora de frente, ó por uno de sus planos, ya de punta ó por una de sus aristas.

FLORA. Como Iris, fué descubierto Flora por Hind en Londres el 18 de octubre de 1847.

Este planetoide es el que menos dista del Sol; su color es rojizo, no presenta nebulosidad alguna y parece una estrella de octava magnitud.

METIS. Metis se descubrió el 25 de abril de 1848 en Inglaterra por Graham. Según Hind, brilla como una estrella de décima magnitud, y se necesita un buen telescopio para distinguir tan reducido planeta.

HIGIA. Este planetoide se observó por primera vez en Nápoles por Gasparis el 14 de abril de 1849.

Como el número de planetas comprendidos entre las órbitas de Marte y Júpiter aumentaba de un modo tan considerable, convinieron los astrónomos en representarlos simplemente por el número de orden de su descubrimiento, encerrado en un círculo pequeño, pues de otro modo, hubieran llegado á faltar signos para indicarlos. El brillo de Higia, según Hind, corresponde á una estrella de novena magnitud.

PARTÉNOPE. Se descubrió en Nápoles por Gasparis el 11 de mayo de 1850 y brilla como una estrella de novena magnitud.

VICTORIA. También se dió á este planeta el nombre de Clío, y fué descubierto por Hind el 13 de septiembre de 1850; este observador estima que, durante su brillo máximo, aparece como una estrella de novena magnitud y de color azul.

Posteriormente se han ido descubriendo más planetas telescópicos hasta el número de 500 que hemos indicado.

Tan sólo 6 de los planetoides cuyos elementos se han calculado, Freia, Maximiliana, Camila, Hermiona, Hilda y Silvia, se encuentran más inmediatos á Júpiter que á Marte; todos los demás, cuyas órbitas se conocen con bastante exactitud, distan menos del Sol y se hallan más cerca de Marte.

Cuando Piazzi descubrió el planeta Ceres, creyeron los astrónomos que se había llenado el espacio vacío ó laguna, que Keplero sospechaba y que había puesto en evidencia la ley de Titio, existente entre Marte y Júpiter. Pero el descubrimiento de Palas por Olbers produjo una complicación inesperada en la supuesta sencillez del sistema planetario. Ocurriósele entonces al ilustre astrónomo de Brema que Ceres y Palas pudieran muy bien ser los fragmentos de un único planeta, destruído por alguna fuerza natural; esta hipótesis adquirió algún fundamento cuando los cálculos del inmortal Gauss demostraron que cuando Ceres pasa en su curso ascendente á través del plano de la órbita de Palas, la distancia entre ambos cuerpos es muy pequeña; Olbers llegó hasta á afirmar que deberían encontrarse en la misma región algunos restos análogos más, y que el punto en que se cruzan las órbitas debe marcar el paraje en que se hubiese verificado la catástrofe. Ahora bien: los planos de las órbitas de Ceres y Palas se cortan según una línea que termina, por un extremo, hacia el ala septentrional de la Virgen, y por el otro, hacia la Ballena; tales eran, pues, las dos regiones en que deberían verse pasar los despojos desconocidos del desgraciado planeta. En la Ballena, en efecto, se encontró Harding á Juno, y en el ala septentrional de la Virgen descubrió Olbers á Vesta; la conjetura del hábil astrónomo de Brema parecía confirmarse de esta suerte con estos nuevos hallazgos; pero si bien algunos pequeños planetas de los descubiertos recientemente, como Iris, por ejemplo, no son redondos, y presentan á la Tierra caras

desiguales que los asemejan á verdaderos fragmentos, el mayor número de estos astros conocidos hoy día hace creer que su origen se deba á otras causas.

Las intersecciones de las órbitas de los pequeños planetas, dos á dos, distan mucho de conformarse con la hipótesis de Olbers, por más que el enlace y trabazón de las órbitas indique una relación íntima entre varios de ellos, habiendo, en los fenómenos que presentan, un asunto curioso y digno de investigación. Según se desprende de los movimientos de Marte y Júpiter, no parece que su reunión ó conjunto deba tener una masa considerable, pues de otro modo ejercerían sobre estos planetas grandes perturbaciones, lo que hasta aquí no se ha observado.

Si el fenómeno supuesto por Olbers tuvo lugar alguna vez, ¿cuál puede haber sido la causa? Cabrá atribuirle á un cometa que, chocando con el cuerpo primario, hubiese dado origen á la formación de Ceres, Pallas, Juno, Vesta, Iris y tantos otros?

Entre las órbitas de los pequeños planetas, figuran como casi iguales entre sí las de Ceres y Pallas. La de Juno y sobre todo la de Vesta presentan dimensiones más reducidas; haciendo girar en proporciones convenientes los distintos planos que contienen las cuatro órbitas, sin cambiar, no obstante, sus inclinaciones respectivas sobre el plano de la eclíptica, ó en otros términos, cambiando solamente las direcciones de las líneas de los nodos, se hallan unas posiciones particulares, en las cuales se enlazan estas cuatro curvas. Por esto Olbers suponía, con bastante fundamento aparente, que los cuatro pequeños planetas, en cada una de sus revoluciones, pasaban antiguamente por un mismo punto del espacio.

Esta circunstancia sería, sin duda alguna, muy extraordinaria, si Ceres, Pallas, Juno, Vesta y los demás planetas pequeños que llenan esta condición hubiesen sido siempre cuerpos independientes unos de otros. Y más sencillo parecerá todavía, desprendiéndose de la naturaleza misma de las cosas, el considerar que los planetoides sean los fragmentos de un planeta mucho más grande, que de una vez, instantáneamente, se fraccionase en cierto número de pedazos.

En efecto, un planeta propiamente dicho, salvo las irregularidades conocidas con el nombre de perturbaciones, sigue constantemente el mismo camino y pasa á cada revolución por la misma serie de puntos. Ahora bien: en el instante mismo en que, según la hipótesis que acabamos de presentar, se rompió el planeta principal, vino á ser cada uno de sus fragmentos un planeta independiente, en la verdadera acepción de la palabra, comenzando á describir la curva que en lo sucesivo había de recorrer de un modo eterno. Algunas diferencias de intensidad y de dirección entre las fuerzas que proyectaron los diversos cascós hubieron de producir notables desemejanzas en las formas y en las posiciones de las órbitas; pero todas estas elipses debieron tener un punto común, á saber, aquel en que los diversos fragmentos planetarios se separaron para caminar cada uno por su lado; el punto común en que las órbitas de los pequeños planetas parecen haber coincidido antiguamente, indica, pues, con gran verosimilitud que hubo un tiempo en que estos cuerpos estaban reunidos en uno solo.

Esta teoría sobre el origen común de cierto número de planetas telescópi-

cos, se recibió en su tiempo con asentimiento casi general, por más que hoy día esté por completo abandonada, y fué necesario, en consecuencia, buscar la causa que determinó la explosión del planeta primitivo. Unos, recordando las poderosas acciones subterráneas, cuyas proyecciones de lava, piedras y torrentes de cenizas son tan frecuentes, pensaron que si los cráteres volcánicos, haciendo las veces de válvulas de seguridad no permitiesen la salida de los gases, y si la superficie del globo no ofreciera fisura alguna, no podría su corteza, á la larga, resistir el esfuerzo creciente de los fenómenos químicos que se desarrollan en las entrañas de la Tierra, y resultaría alguna espantosa explosión.

Otros rechazaron la pretendida semejanza de los planetas con las calderas de vapor, cuyas explosiones son por desgracia tan frecuentes; según sus ideas, una esfera planetaria sólida no puede romperse sino por una percusión muy fuerte, y en este sistema, claro está que había que acudir á los cometas para buscar el cuerpo percutor. Parece difícil hallar en la forma y el aspecto de los pequeños planetas argumentos irrefutables que nos obliguen á aceptar cualquiera de estas hipótesis; presentaremos, sin embargo, las extrañas consideraciones que sirven de fundamento á los partidarios de la teoría del choque de los cometas.

Los planetas ultrazodiacales son muy pequeños, y según hemos podido ver por las medidas que insertamos más arriba, las superficies de Ceres, Palas, Juno y Vesta apenas superan á las de algunas islas de nuestra Tierra (fig. 165). En los grandes planetas, como Marte, Júpiter y Saturno, se distinguen trazas de atmósfera, cuya existencia se comprueba únicamente por medio de observaciones muy sutiles y delicadas; en los planetas telescópicos, por el contrario, parecen desarrollarse los fenómenos atmosféricos en una escala inmensa.

Según las medidas de Schroeter, la atmósfera de Ceres no tiene menos de 276 leguas de altura; la de Palas, que es más pequeña, llega, sin embargo, á 192 leguas. Hasta aquí, tan sólo los cometas han mostrado poseer unas envolturas gaseosas de extensión tan considerable; suponiendo que el primitivo planeta comprendido entre Marte y Júpiter haya chocado con un cometa, todo se explica, según los partidarios de esta teoría. La atmósfera cometaria, en efecto, la nebulosidad que llamamos cabellera, como no pudo destruirse por la percusión, se dividió entre los diversos fragmentos, formando alrededor de cada uno de ellos una inmensa atmósfera.

Las formas de las órbitas distan mucho de ser circulares. La menos prolongada de todas es la de Freya, que en proporción presenta mayor excentricidad que las órbitas de la Tierra, de Neptuno y de Venus, que son, en efecto, las que más se aproximan al círculo, de todos los astros que componen nuestro mundo solar. La órbita más prolongada corresponde al planetóide Polimnia, cuyo diá-

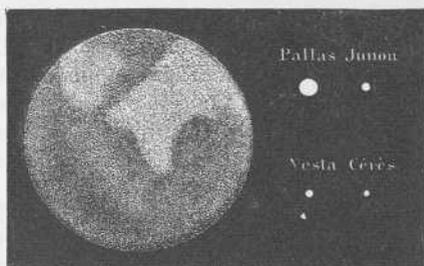


Fig. 165. — Dimensiones comparadas de la Tierra y de los planetoides Ceres, Palas, Juno y Vesta.

metro mayor supera al menor en el tercio de su valor total, lo que da entre sus distancias máxima y mínima al Sol una diferencia de 72 millones de leguas. La fig. 166 representa las formas y las magnitudes relativas de ambas órbitas, comparadas con iguales elementos terrestres. Ultimamente se han descubierto otros planetas ultrazodiacales, como Liberatriz, cuya excentricidad es más considerable (0,3467), y Lomia, que sólo presenta una excentricidad igual á 0,02228, superior á la de la Tierra en una tercera parte, pero nueve veces más pequeña que la de Mercurio.

Como hemos visto por las monografías que de algunos pequeños planetas presentamos, las inclinaciones de sus órbitas sobre el plano de la eclíptica son muy variables; algunos de ellos, por ejemplo, Massalia, Temis, Gerda, Protogenia y Angelina, coinciden, con muy escasa diferencia, con el plano de la órbita terrestre, al paso que Palas presenta una oblicuidad de $34^{\circ} 42'$, es decir, cerca de dos quintos de un ángulo recto; estas inclinaciones considerables han dado origen á la denominación de planetas *ultra-zodiacales*, con que también se designan frecuentemente estos pequeños cuerpos, pues muchos de ellos, á causa de su extraordinaria inclinación y de su movimiento propio, salen de la zona en que se mueven los planetas principales. Los planetoides Eufrosina, Etra, Niobe, Artemisa y Focea presentan una inclinación respectivamente de $26 \frac{1}{2}^{\circ}$, de 25° , de 23° y de $21 \frac{1}{2}^{\circ}$.

Para concluir con estas generalidades, diremos cuatro palabras acerca de sus períodos de revolución alrededor del Sol. Estos se hallan comprendidos entre 1.193 y 2.868 días solares medios, es decir, entre 3 años 97 días y 7 años 31 días, que marcan la longitud del año de Flora y de Hilda. Sucede, como con las distancias medias, que algunos pequeños planetas consecutivos verifican sus revoluciones en tiempos casi iguales; los períodos de revolución de Eufrosina y de Higía sólo ofrecen 2 días y 11 horas de diferencia. Para Egeria y Astrea no llega á dos días siquiera ($1^d, 8$); para Iris y Metis es de un tercio de día; para Juno y Cloto de un cuarto. Para los planetas Fides y Maya, de que hablamos antes, así sus períodos como sus demás elementos presentan una gran analogía; así pues, las inclinaciones de sus órbitas son inferiores á 3° y sus excentricidades casi iguales; sus perihelios y sus nodos ascendentes difieren tan sólo en unos 10 á 11 grados; puede decirse que estos cuerpos son dos planetas gemelos.

Dice Herschel que lo que más llama nuestra atención en el examen de los planetas telescópicos es la exigüidad de la masa ó del peso de estos diminutos cuerpos y la pequeñez de su densidad y de la fuerza de la gravedad en su superficie; sabemos que todos los pequeños planetas reunidos forman tan sólo una masa insensible que no produce sino una debilísima perturbación en el movimiento de Marte, y que toda ella es, cuando más, igual, como hemos dicho, á la tercera parte de la masa terrestre; de donde resulta que el peso de cada planeta, individualmente considerado, es casi insignificante; su atracción, pues, carece de importancia y los objetos apenas pesan en su superficie; un hombre situado en uno de estos planetas podría saltar con facilidad á la altura de 20 metros y volvería á caer al suelo, produciendo un choque igual al que resultaría en la Tierra de un salto de medio metro; en estos mundos pudieran existir gigantes, pues los animales enormes que aquí abajo viven en las aguas del Océano, porque pier-

den una parte de su peso, podrían cómodamente vivir y correr sobre el suelo de los pequeños planetas. Más aún. La atracción que conservan estos exiguos mundos en el estado de unidades individuales es tan débil, que un volcán del planeta Juno podría muy bien lanzar sus productos sobre el planetóide Cloto, pues les imprimiría una velocidad tal, que dejarían de ser retenidos por la atracción propia de su esfera, dirigiéndose hacia la órbita de Cloto, que dista de la de Juno tan sólo 260 leguas.

Flammarión, en su afán de poblar de seres todos los astros del cielo, exclamó:

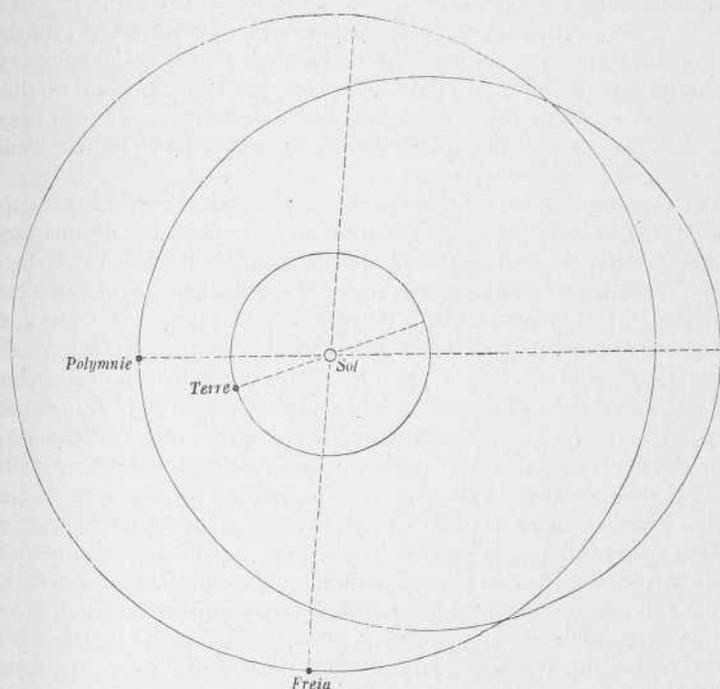


Fig. 166. — Órbitas de los planetas Freya y Polimnia: comparación de sus excentricidades

ma á propósito de los planetoides: «¡Cuán diversas no serán las formas de la vida en estas mansiones extraordinarias! En el caso de que en uno ó más planetas se hubieran verificado cataclismos geológicos semejantes á los terrestres y hubieran podido sobrevivir los gérmenes, habrían dado origen á la formación de una flora y una fauna particularmente distinta de las anteriores, á causa de la disminución de la gravedad. Las fuerzas de la naturaleza se habrán desarrollado en distintas proporciones y bajo formas completamente nuevas; las especies, modificándose según las variaciones de los medios, se habrán transformado en los mundos que, á causa de su esterilidad, no hayan opuesto un obstáculo invencible á las manifestaciones orgánicas. ¿Y qué seres habrán nacido allí? La imaginación de los poetas terrícolas apenas podría concebir ni la sombra de estos

monstruos. Los dioses de la fabulosa India, con sus múltiples brazos y sus prolongadas cabezas, las esfinges y las divinidades simbólicas del antiquísimo Egipto, las metamorfosis de la mitología griega, son meramente pálidas creaciones de la tímida fantasía, en parangón con los extraños y prodigiosos seres que las evoluciones de las fuerzas naturales deben de haber producido en estas pequeñas tierras, lanzadas fuera del zodíaco por la mano colosal de algún desconocido titán.»

¿Cuántos años podrán transcurrir todavía hasta que llegue á descubrirse el último cuerpo del anillo planetario que circula entre Marte y Júpiter? Es difícil contestar á esta pregunta de un modo satisfactorio; sin embargo, es probable que hoy día conozcamos ya, si no todos los planetoides de mayor tamaño, al menos aquellos cuyas distancias á la Tierra los hacen más fácilmente perceptibles. El descubrimiento de los demás se hace cada vez más arduo, y el aumento de su número se halla en parte subordinado al perfeccionamiento de los telescopios, de las cartas celestes y de la fotografía.

En las primeras investigaciones para descubrir estos pequeños cuerpos, la tarea era muy penosa, pues el observador tenía que proveerse de una excelente carta estelar, por lo general construída por él mismo, y medir en el cielo, noche tras noche, las distancias angulares de los puntos brillantes que quería reconocer, para ver si alguna de ellas variaba y determinar cuál era el astro que se movía. Considerando el número de estrellas de la región examinada y la improbabilidad de que pudiera haber en ella, en aquel momento, algún planetode, se comprende bien que tales descubrimientos fueran resultado de un trabajo inmenso.

La fig. 167 reproduce en escala reducida una de las cartas levantadas por el astrónomo francés Chacornac, á quien la ciencia debe, además de infinitas observaciones de diverso género, el descubrimiento de ocho pequeños planetas. Todas las estrellas, desde las más brillantes hasta las de décimatercera magnitud, se encuentran marcadas en la carta, y con su auxilio y el de un anteojo astronómico bastante poderoso para columbrar en el cielo las estrellas señaladas en el plano, puede un observador dedicarse á descubrir pequeños planetas, procediendo del modo siguiente: en el foco del anteojo se colocan seis hilos que se corten dos á dos en ángulos rectos y separados unos de otros de manera que abarquen en el cielo precisamente el mismo espacio que uno de los pequeños cuadrados de la carta; luego dirigirá su telescopio hacia la región del cielo representada por la parte del plano que quiere explorar, de manera que vaya comparando sucesivamente todos los cuadrados con las partes del cielo correspondientes.

De este modo puede adquirir la seguridad de que es perfecta la semejanza que exista en el número y posición de las estrellas marcadas y de las que aparezcan en el cielo. ¿Llega á encontrar en el anteojo un punto luminoso que no está marcado en la carta? Pues en este caso, si la carta está bien construída, tan sólo puede explicarse la aparición de dos modos: ó el astro nuevo es una estrella variable que no era visible en la época de su construcción, ó bien se ha tropezado con un nuevo planeta. Para saber á qué atenerse en este punto, basta examinar si el nuevo astro permanece invariablemente fijo en el mismo sitio, ó si, por el contrario, se mueve respecto de las estrellas próximas; el movimiento de un planeta es por lo general bastante sensible para que el observador pueda

asegurarse de su realidad en la misma noche de la observación. En este último caso, ha descubierto un nuevo planeta ó quizás un cometa. También pudiera suceder que la estrella fuese uno de los pequeños planetas descubiertos con anterioridad, y para cerciorarse de ello es necesario comparar la posición del día y hora del descubrimiento con la que resulta de las efemérides de estos cuerpos. Si no hay coincidencia de ninguna especie con estos últimos, el astro hallado es, en efecto, un nuevo planeta telescópico. Como se ve, es este un trabajo muy de-

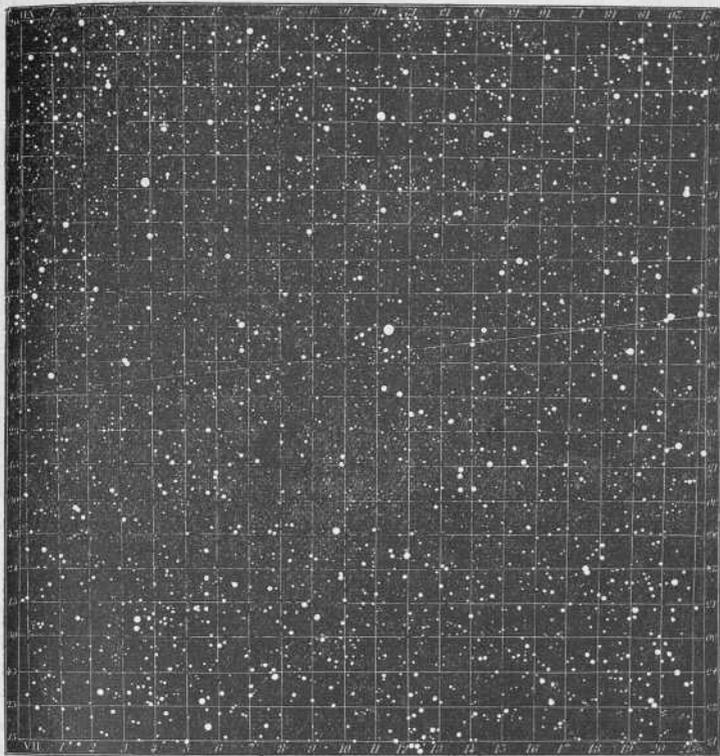


Fig. 167. - Carta eclíptica levantada por Chacornac

licado, que exige mucha paciencia, perspicacia y sangre fría, si se quiere obtener un buen resultado, sobre todo cuando se trata de astros comprendidos, por lo general entre la 10.^a y 14.^a magnitudes. Pero si el celo y diligencia de los buscadores es grande y meritorio, el de los astrónomos que se consagran al estudio de los pequeños planetas, al cálculo de los elementos de sus órbitas y de sus efemérides y á su continua observación, única manera de perfeccionar las tablas, no es por cierto inferior. Los observatorios de París, de Greenwich, de WASHINGTON, en cuanto á las observaciones, y el de Berlín para los cálculos, se han hecho cargo de estos trabajos.

Agreguemos que la construcción de las cartas eclípticas es también muy la-

boriosa y que en nada cede á la investigación propiamente dicha de los pequeños planetas.

En la fig. 168 se representa á la izquierda una porción de la carta eclíptica, y á la derecha el campo visual del instrumento, con lo cual puede formarse una idea aproximada del método en su parte práctica: en este último grabado se ve el punto luminoso que, por sus posiciones sucesivas en el campo estrellado, indica la presencia de un astro perteneciente al mundo solar.

Con el uso de la fotografía, todas estas dificultades desaparecieron de una vez, pues en las placas obtenidas en diferentes momentos ó épocas se distinguen los pequeños planetas con mucha mayor facilidad si los puntos que representan las estrellas permanecen á la misma distancia unos de otros.

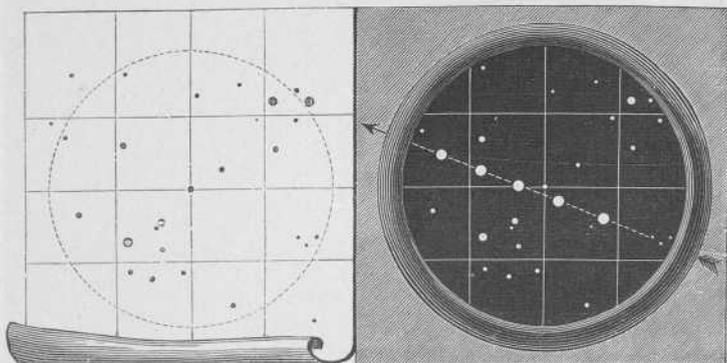


Fig. 168. — Procedimiento para buscar los pequeños planetas por medio de las cartas eclípticas

El procedimiento operatorio es bien sencillo.

En un anteojo ecuatorialmente montado y dispuesto para uso fotográfico, con máquina de reloj propulsora, de movimiento sidéreo, se coloca una placa sensible; las estrellas fijarán sus imágenes como puntos más ó menos fuertes, según la intensidad fotogénica de su luz, y los planetas, como tienen movimiento propio, que no anula el de la ecuatorial, dejarán trazado un rastro, cuyo largo depende de la duración de la exposición y de la velocidad del planeta durante el intervalo.

En la actualidad son muchos los observadores que aprovechan todas las noches favorables para exponer placas y registrar el aspecto de las constelaciones zodiacales y las modificaciones que puedan presentar, y por este medio consiguió el Sr. Witt descubrir un nuevo planeta de importancia extraordinaria.

Desde el año de 1889 no se había vuelto á observar un asteroide llamado Eunice (185), y con intención de fotografiarlo, dirigió Witt en Berlín su ecuatorial, en la noche del 13 de agosto de 1898, á la región de Acuario, donde, según cálculos anteriores, debía de hallarse el planeta. Después de dos horas de exposición, fué revelada la placa, lavada y puesta á secar, para ser examinada al día siguiente; y se deja pasar este tiempo, porque en la placa húmeda es muy difícil percibir el rastro que dejan los planetas. No sólo se distinguió el trazo impre-

so por el perdido planeta que se buscaba, sino que otro, Altea (119), también se mostró. Con auxilio de la lente se percibió un tercero; pero debido á su acostumbrada longitud, indicadora de un movimiento muy rápido, pensó Witt, primero, que pudiera ser un cometa.

Para comprobarlo, la noche siguiente dirigió el refractor de 12 pulgadas á la misma región, y halló en la posición determinada un cuerpo de aspecto planetario y no cometario, de la 10.^a á la 11.^a magnitud. Sin aguardar más, comunicó el descubrimiento á la Oficina central de los telegramas astronómicos, y por este medio la noticia se envió inmediatamente á numerosos observatorios. En la propia noche del 13 de agosto M. Charlois, del Observatorio de Niza, fotografió

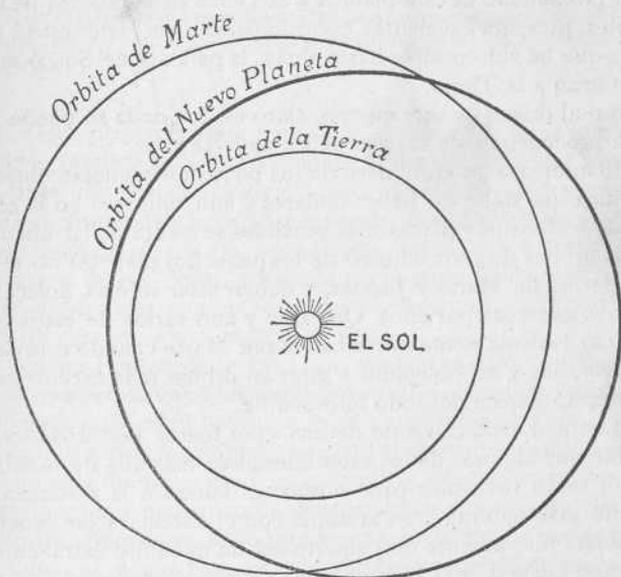


Fig. 169. — Órbita de Eros

(Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia)

también la misma región del cielo, y en la placa apareció asimismo el nuevo astro, según se vió después de recibirse la noticia del descubrimiento de Witt. Al poco tiempo se obtuvieron numerosas y exactas observaciones del pequeño cuerpo, que alcanzaban á un período de 17 días, suficiente para permitir el cálculo de su órbita, que efectuó el Sr. Berberich, y de ello resultó lo más extraordinario que pudiera suponerse.

El planeta no pertenecía al grupo circulante entre Marte y Júpiter, sino que era un cuerpo completamente nuevo, con su órbita casi toda interior á la de Marte. De los elementos calculados se deduce aproximadamente que el período de revolución alrededor del Sol lo efectúa el planeta en 642 días. Millosevich, por observaciones efectuadas en Roma en 1900, lo estima en 643 días. Tomando la distancia media de la Tierra al Sol como unidad, el nuevo planeta, en

el perihelio, se aproxima al Sol hasta 1,12 de esta unidad, y cuando está lo más lejos 1,79. Estos valores, en el caso de Marte, son 1,38 y 1,67, respectivamente. Así vemos que ya no podemos hablar de Marte como de nuestro próximo vecino, exceptuando la Luna, pues la distancia media de Marte al Sol es de 1,52 y la del nuevo cuerpo 1,46.

Una oposición favorable para la observación del planeta ocurrió en enero de 1894, y perdida esta oportunidad, no volverá á presentarse otra, debido al período de su revolución sinódica, hasta enero de 1924. En los años 1900 y 1917, son también favorables las oposiciones, pero en menor grado; la magnitud del planeta en noviembre de 1900 fué de 8.^a á 9.^a

La gran proximidad de este planeta á la Tierra en las épocas de las oposiciones favorables, presenta excelentes oportunidades para determinar, más exactamente de lo que ha sido posible hasta ahora, la paralaje del Sol, ó en otras palabras, su distancia á la Tierra.

En cuanto al origen de este cuerpo, claro es que nada se puede decir, pues todo de la procedencia de los asteroides nada se sabe.

El rápido aumento en el número de los pequeños planetas, obtenido recientemente, indica que debe de haber millares y aun millones en la zona; con telescopios más poderosos y placas más sensibles se podrá hallar muchos de estos millares. Las órbitas de gran número de los pequeños planetas no se diferencian demasiado de las de Marte y Júpiter, y deben estar sujetas, á veces, á grandes perturbaciones causadas por ellos. Que uno y aun varios de estos cuerpos pueden haber sido violentamente perturbados por Marte cuando estuviera en posición muy favorable, y así obligados á girar en órbitas más excéntricas é internas á la de Marte, no parece del todo improbable.

Júpiter también sería causante de una gran fuerza perturbadora, y es igualmente posible que algunos de los asteroides giren más allá de la órbita del gran planeta; pero serán invisibles para nosotros, debido á la distancia. En suma, parece mucho más natural, y en armonía con el sistema solar general, que este pequeño planeta nuevamente descubierto sea un miembro extrañamente situado fuera del grupo general, más bien que una simple condensación de materia, que desde el principio de su carrera viviese como planeta principal, que no se hubiera podido observar.

CAPITULO VIII

JÚPITER

Aspecto de Júpiter: su movimiento respecto del Sol. - Aspecto telescópico de Júpiter: su movimiento de rotación, sus bandas y atmósfera. - Descubrimiento de los satélites de Júpiter. - El mundo jovial.

Este gigantesco planeta se representa por el signo ♃ , en el que creen algunos distinguir la primera letra de su nombre griego Zeos, y otros una imagen de la quebrada línea que describe la luz del rayo; el nombre que los egipcios daban á este planeta corresponde á la palabra brillante; también lo llamaban Osiris. La denominación india de Júpiter era, según Bopp, Vrihaspati, ó más antiguamente, según la ortografía de los Vedas, adoptada por Larren, Brihaspati, que significa *Señor del crecimiento*; este nombre, que pertenecía á una divinidad védica, está formado de vrih ó brich, *crecer*, y de pati, *señor*.

El centelleo de Júpiter, dado caso que exista, tan sólo se ha observado en circunstancias excepcionales; á la simple vista brilla como una estrella de primera magnitud, cuya intensidad luminosa varía en relación con sus distancias á la Tierra; en algunos casos favorables rivaliza Júpiter en esplendor con Marte y Venus, y como este último cuerpo, es susceptible de proyectar sombra, si bien estas observaciones hay necesidad de efectuarlas en una cámara oscura. Bond, astrónomo ilustre, americano, halló que su superficie refleja mejor la luz que el suelo de la Luna, al menos para la reproducción fotográfica, en la proporción de 14 á 1. Zoellner ha calculado que Júpiter refleja 0,62 de la luz que recibe y la Luna tan sólo 0,17 de la luz incidente. Bond llega á afirmar que Júpiter emite más luz que recibe, lo cual es bastante extraño; pero ya aceptemos este resultado problemático, ora nos fiemos mejor de los obtenidos por Zoellner, es lo cierto que tenemos motivos fundados para creer que Júpiter posee cierta cantidad de luz propia, inherente á su naturaleza, de lo cual se deduce que, en miniatura, viene á ser una especie de Sol.

Las observaciones más antiguas que tenemos de este planeta se encuentran consignadas en el libro X, capítulo III del *Almagesto* de Ptolemeo, considerándolas este astrónomo dignas de la mayor confianza. Su fecha se remonta al año 83 después de la muerte de Alejandro el Grande, el día 18 del mes egipcio Epifi, por la mañana, cuando el planeta eclipsó la conocida estrella *delta* de Cáncer. Esta observación corresponde al 3 de septiembre del año 240 antes de Jesucristo, á las 18 horas del meridiano de Alejandría.

La distancia angular de Júpiter al Sol, medida desde la Tierra, de occidente á oriente, aumenta sin cesar de 0° á 360 grados. En el primer caso, esto es,

cuando la distancia es 0, se dice que el planeta está en conjunción, y pasa entonces por el meridiano al mismo tiempo que el Sol; pasa por el meridiano á media noche, cuando la distancia angular de ambos astros obtiene un valor de 180 grados, y entonces se dice que Júpiter está en oposición. En cuadratura se encuentra cuando su distancia angular al Sol vale 90° ó 270° ; en esta época pasa por el meridiano á las seis de la mañana ó de la tarde.

Esta regularidad del movimiento aparente de Júpiter desaparece cuando se le compara con las estrellas fijas. En el momento en que por la mañana se distingue el planeta en el horizonte, poco antes de la salida del Sol, su movimiento, relativamente á las estrellas, parece directo, ó como si se dirigiera de Occidente á Oriente, y su valor angular llega á su máximo. La velocidad del movimiento diario disminuye gradualmente hasta la época en que el astro dista del Sol unos 115° poco más ó menos. En este día y en los siguientes parece el planeta estacionario, por manera que, si no fuese por su brillo extraordinario y tranquilo, pudiera confundirse con una estrella propiamente dicha. Poco después comienza Júpiter su curso aparente á través de las constelaciones, en dirección esta vez del Este al Oeste, alcanzando este movimiento retrógrado su velocidad máxima el día de la oposición. Se detiene poco á poco, para presentar otro momento de reposo ó segunda estación, cuando su distancia angular al Sol vuelve á ser de 115 grados.

Al cabo de cierto número de días de inmovilidad, pónese de nuevo en camino, con lentitud al principio, luego con mayor rapidez, pero siempre de Occidente á Oriente, hasta que llega á la conjunción. El arco de retrogradación viene á valer unos 10 grados y Júpiter invierte en recorrerlo unos 121 días; pero estos dos números varían sensiblemente, según la posición del planeta en su órbita.

El movimiento de Júpiter no se efectúa en el plano de la eclíptica, si bien su inclinación sobre él es tan sólo de $1^{\circ} 18' 40''$. El tiempo que el planeta emplea en volver á coincidir con las mismas estrellas, ó el período de su revolución sidérea, ó espacio que necesita para dar una vuelta completa en torno del Sol, es igual á 4.332 días y 85 centésimos de día, que equivalen á 11 años 10 meses y 17,6 días terrestres. La órbita que describe en este período es una elipse, cuya excentricidad de 0,048 viene á ser triple de la excentricidad de la órbita terrestre, y su inclinación sobre el plano del ecuador de la Tierra es igual á $23^{\circ} 18' 28''$. La longitud del perihelio es de $11^{\circ} 7' 38''$ y la del nodo ascendente de $98^{\circ} 25' 45''$.

De estos datos resulta que las distancias medias y extremas de Júpiter al Sol son:

Distancia de la Tierra al Sol = 10.000 leguas

| | | |
|-------------------------------|--------|--------------------|
| Distancia perihelia | 4.9518 | 183.000.000 leguas |
| » media | 5.1028 | 192.500.000 » |
| » afelia | 5.4537 | 201.700.000 » |

El tiempo de su revolución sinódica, ó de su vuelta á unas mismas posiciones, relativamente al Sol, es de 399 días ó 1 año y 34 días; 278 días invierte en su movimiento directo y 121 en el retrógrado. La órbita de Júpiter ofrece un desarrollo de más de 1.200 millones de leguas. La velocidad media del planeta

es, pues, de 278.750 leguas diarias ó 3 leguas y 900 metros por segundo, esto es, menos de la mitad de la velocidad del globo terrestre.

Las cantidades de calor y de luz enviadas por el Sol á la Tierra pueden representarse por 1, en cual caso las que recibe la superficie de Júpiter son de 0,037. Júpiter no presenta fases sensibles, ni aun en la época de las cuadraturas; en ocasiones determinadas brilla con tal intensidad, que algunos astrónomos creyeron que, con un cielo puro y despejado y en el momento de su esplendor máximo, proyectaba su luz una sombra sensible tras los objetos, lo cual comprobó recientemente, en 1890, M. Bruguère en Marsella, recibiendo sobre una hoja de papel blanco, en una habitación oscura, la luz del planeta, é interponiendo los dedos, vió perfectamente la proyección de su sombra. Intentó asimismo aunque inútilmente, leer la hora del reloj.

De los movimientos simultáneos de la Tierra y Júpiter en sus órbitas res-

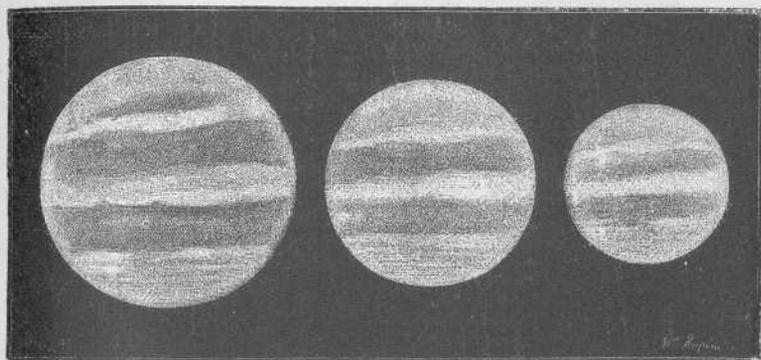


Fig. 170. — Magnitudes aparentes del disco de Júpiter á sus distancias extremas y media de la Tierra

pectivas, y de las posiciones combinadas que son su consecuencia, resulta que ambos planetas se encuentran á cada instante á diversas distancias. Así se ve que cambian en diverso sentido los diámetros aparentes del disco de Júpiter, observado por medio del telescopio. A la época de las oposiciones corresponden unas dimensiones mayores que á la época de las conjunciones, en que ambos astros se encuentran á su distancia máxima, pues la posición del perihelio y del afelio de Júpiter es tal respecto de la órbita terrestre, que las distancias mínimas del planeta á la Tierra corresponden á las oposiciones que se verifican hacia el mes de octubre; las distancias máximas corresponden, del propio modo, á las conjunciones, las cuales tienen lugar en la misma época del año.

Resulta, pues, que el diámetro angular de Júpiter es muy variable; á su distancia media de la Tierra mide $37''.91$, y á su distancia máxima, que es de 239 millones de leguas, se reduce á $30''$; por último, llega á obtener $47''$ en las oposiciones más favorables, es decir, cuando la distancia entre ambos cuerpos es tan sólo de 146 millones de leguas. En la fig. 170 se perciben claramente estas diferencias.

Desde la Tierra aparece Júpiter en el telescopio como un disco luminoso, de forma elíptica, sin que presente fases sensibles, por más que sepamos que no brilla con luz propia; más adelante presentaremos las pruebas absolutas que poseemos de la opacidad del planeta, de modo que su carencia de fases se explica sencillamente por la inmensidad de su órbita, que siempre envuelve, á distancia considerable, á la de la Tierra.

Acabamos de decir que el diámetro ecuatorial de Júpiter visto desde la Tierra, ó desde el Sol á distancia media, es igual á $37'',91$, de cuyo valor se deduce con gran facilidad cuál sería su diámetro á la distancia 1, que el cálculo demuestra que es igual á $197'',96$ ó $98'',88$ como radio ecuatorial del planeta; y como la paralaje del Sol es $8'',86$, la relación de los números $98'',88$ y $8'',86$ es

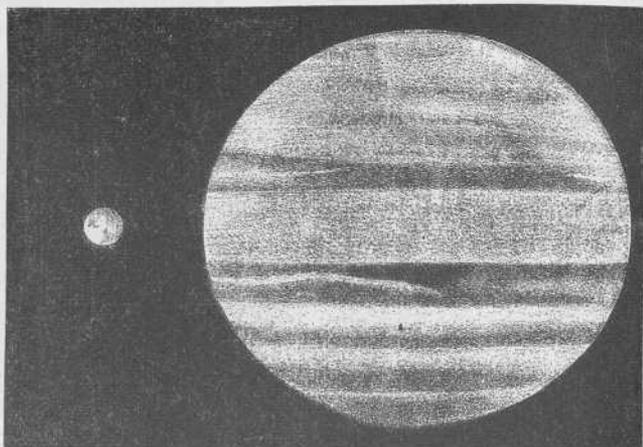


Fig. 171. — La Tierra y Júpiter: dimensiones comparadas

igual á la de los radios ecuatoriales de Júpiter y la Tierra, de donde resulta que el diámetro de Júpiter es once veces mayor que el terrestre.

El diámetro de Júpiter, medido en el sentido del eje de rotación, es más pequeño que el diámetro ecuatorial ó perpendicular al anterior, en la relación de 17 á 18.

En 1647 decía Hevelio en su *Selenografía* que Júpiter se presentaba bastante redondo. Cassini observó en Italia, hacia el año de 1665, que el disco del planeta no aparecía circular y que el eje del ecuador superaba á la línea de los polos. Picard y Flamsteed, á quienes comunicó su observación, se convencieron por sí mismos de su exactitud, pero ninguno de los dos trató de determinar el valor del achatamiento. Al finalizar el año 1690 el mismo Cassini dejó de percibir el aplanamiento que había observado anteriormente, y aquí debemos hacer notar que el famoso astrónomo consagró á este asunto una atención particular.

Arago lo determinó en el Observatorio de París allá por los años de 1835 á 1842, deduciendo su valor de una gran serie de medidas micrométricas que arrojaban como diámetro ecuatorial $38'',01$ y como diámetro polar $35'',79$ á la

distancia media del planeta, de cuyas observaciones resulta un aplanamiento de $\frac{1}{171}$.

Es notable que ninguno de los astrónomos que en tan gran número han tratado de determinar el achatamiento de Júpiter se haya ocupado de averiguar si el planeta es elíptico, en una palabra, si un diámetro que pasase por el centro y se hallara inclinado 45° sobre el diámetro del ecuador, tendría un valor intermedio entre este último diámetro y el de los polos. Arago efectuó estas mediciones en 1813 y de ellas resulta que el disco de Júpiter difiere de una elipse en una cantidad apreciable.

El cuadro siguiente reúne las dimensiones de Júpiter en relación con las terrestres, y al propio tiempo sus valores métricos:

| | TIERRA=1 | EN LEGUAS |
|------------------------------|-----------|-----------|
| Diámetro ecuatorial. | 11.06 | 35.500 |
| Circunferencia. | 11.143 | 111.400 |
| Masa. | 309 8 | |
| Superficie. | 114.130 | |
| Volumen. | 1 279.412 | |

Aceptando que el achatamiento sea igual á $\frac{1}{171}$, vemos que la depresión en cada polo viene á ser próximamente de 1.050 leguas, casi la tercera parte del espesor total del globo terrestre.

El volumen de Júpiter comparado con el del Sol es, poco más ó menos, la 1035^{a} parte; si nos fuera posible aproximarnos al colosal planeta hasta una distancia igual á la de la Luna, se nos presentaría un globo con un diámetro aparente de 21° , cerca de 14 veces tan considerable como nuestro propio satélite, y la porción de la bóveda celeste que cubriría su disco sería igual á 1.600 veces el espacio que ocupa la Luna llena.

Algunas manchas que con gran frecuencia se observan en la superficie visible y brillante del planeta demuestran que Júpiter gira sobre sí mismo de occidente á oriente, en un tiempo mucho menor que el que necesitan para efectuar sus rotaciones los planetas inferiores Mercurio y Venus y el planeta superior Marte.

El tiempo de la rotación de la superficie visible de Júpiter es, por término medio, de $9^{\text{h}} 55^{\text{m}} 41^{\text{s}}, 2$; pero todas las manchas no conducen al mismo resultado numérico, lo que arguye, en consecuencia, que son móviles ó que nacen en el seno de una atmósfera que envuelve por completo al planeta. El eje de rotación de Júpiter es casi perpendicular al plano de la órbita que describe el planeta en torno del Sol. La inclinación es, en efecto, de $86^\circ 54'$ y el ángulo que forma el eje de rotación con el plano de la eclíptica es de $88^\circ 13'$.

A Cassini se debe el descubrimiento de la rotación de Júpiter, que realizó en Italia en 1665. Con este objeto se valió de una mancha que parecía adherida á la banda meridional, cuyo centro distaba del centro del disco como un tercio de su radio, y obtuvo como valor de la rotación $9^{\text{h}} 56^{\text{m}}$. Posteriormente, en 1672,

otra serie de observaciones análogas, que el gran astrónomo hizo sobre una mancha idéntica, al parecer, á la que antes había observado en Italia, le dió por resultado un período de $9^{\text{h}} 55^{\text{m}} 51^{\text{s}}$. Al investigar de nuevo en 1677 este asunto interesante, dedujo una rotación de $9^{\text{h}} 55^{\text{m}} 50^{\text{s}}$; pero esta admirable concordancia se desvaneció en 1690, pues observando entonces una mancha que parecía adherida á la banda meridional, muy próxima al centro, halló como valor de la rotación $9^{\text{h}} 51^{\text{m}}$. Este resultado, tan distinto de los anteriores, se confirmó en 1691 por la observación de dos manchas brillantes situadas en la banda oscura más inmediata del centro hacia el Norte y también por otra mancha oscura colocada entre las dos bandas centrales. En 1692 dieron las manchas como duración del movimiento rotatorio un valor de $9^{\text{h}} 50^{\text{m}}$.

Las considerables diferencias de estos diversos resultados nos hacen suponer que las manchas son nubes que flotan en una atmósfera muy agitada, pues según se deduce de los resultados anteriores, poseen un movimiento tanto más rápido, cuanto más inmediatas se encuentran al centro del planeta. Por esta razón, decía Fontenelle que eran comparables los movimientos de las manchas á los de las corrientes que reinan cerca del ecuador terrestre; pero Arago rechaza esta semejanza por las razones siguientes: los alisios soplan del Oriente al Occidente, arrastrando en igual dirección las nubes que se encuentran en esta posición de la atmósfera, las cuales corresponden, pues, por sus cambios de posición en veinticuatro horas, á lugares cada vez más occidentales de la corteza sólida de nuestro globo; por consecuencia, un observador que se suponga situado en la Luna ó en el Sol, determinaría la duración del movimiento rotatorio de la Tierra por la observación de una de estas nubes, y hallaría un número mayor que el que resulte de la observación de un punto de la superficie del suelo, y lo contrario es lo que se ha notado en Júpiter.

Beer y Maedler determinaron la rotación de Júpiter en el intervalo comprendido entre el mes de noviembre de 1834 y el mes de abril de 1835; las manchas situadas á 5° de latitud Norte indicaron una rotación de $9^{\text{h}} 55^{\text{m}} 26^{\text{s}}$, mas en esto hay que advertir que este número es el resultado medio y que las duraciones obtenidas por la observación de dos manchas simultáneas no son iguales (fig. 172).

En estos últimos tiempos son muchos los astrónomos que, con los perfeccionados instrumentos que facilita la industria moderna, han determinado el período de rotación de Júpiter. En el Observatorio de Chicago, donde cuentan con una gran ecuatorial, se consagraron á este estudio en 1880 y 1881. Según los resultados publicados, no parece, como en general se supone, que la superficie del planeta se halle sometida á cambios rápidos y repentinos, que se efectúan en pocos días y aun en pocas horas; al contrario, las observaciones muestran que todos los cambios pequeños ocurridos en las manchas fueron lentos y graduales.

La rotación se determinó con auxilio de una gran mancha roja, de la que hablaremos más adelante, observada desde septiembre de 1879 hasta enero de 1881, ó sea en un período de 490 días, siendo su valor medio de $9^{\text{h}} 55^{\text{m}} 35^{\text{s}}$,². Valiéndose de las manchas polares, se obtuvo el mismo valor, pero con las manchas ecuatoriales la diferencia es de importancia, pues el período baja á $9^{\text{h}} 50^{\text{m}} 9^{\text{s}}$,⁸.

El Sr. Landerer, de Tortosa, se ocupó del mismo asunto en 1891 y obtuvo como valor de la rotación, para la latitud austral de 30° , $9^{\text{h}} 55^{\text{m}} 23^{\text{s}}$,⁰; y Wi-

lliams, por mediciones efectuadas en unas fotografías del planeta, obtenidas en el Observatorio de Lick en 1895, en las que se veían unas manchas oscuras situadas entre los 40° y 85° de latitud boreal, dedujo para el período de rotación $9^{\text{h}} 55^{\text{m}} 35^{\text{s}},9$.

Parece, pues, que la rotación del globo de Júpiter, á juzgar, al menos, por la determinación que obtenemos de las bandas y manchas de su disco, sigue una ley análoga á la que nos revelaron las manchas solares respecto del movimiento giratorio del Sol, pues la velocidad disminuye con la latitud; la analogía es más perfecta aún, si aceptamos, como Schmidt, que las diversas partes de una misma mancha dan distintos períodos de rotación, que difieren en 50 segundos, lo que se debe indudablemente al cambio de lugar ó movimientos propios que experimentan estas partes.

Por lo general, se ha determinado el período de rotación observando las

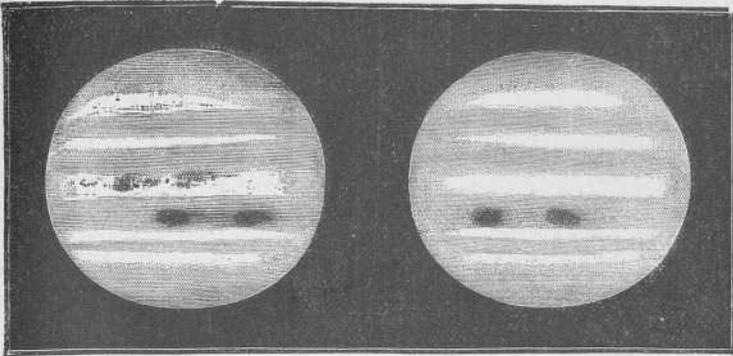


Fig. 172. — Rotaciones de Júpiter: manchas observadas por Beer y Maedler el 13 de diciembre de 1834

manchas claras y oscuras, esto es, las partes más brillantes y negras de las bandas, puesto que son los accidentes que presentan mayor permanencia, pero también se han utilizado las bandas mismas.

En resumen, el día sidéreo tiene en Júpiter una duración que equivale á los $\frac{2}{3}$ del día sidéreo terrestre, ó si se quiere, su velocidad angular de rotación es casi dos veces y media la de nuestro globo, pero su velocidad lineal ó camino recorrido por cada punto de la esfera de Júpiter, en latitudes iguales, es mucho más considerable que en un punto análogo de la superficie terrestre. En el ecuador, por ejemplo, llega á ser esta velocidad de 187 leguas por minuto, ó poco más de 3 leguas por segundo, esto es, 27 veces* mayor de la que posee un punto situado en el ecuador terrestre; según manifiesta Laplace, la fuerza centrífuga que resulta de este rápido movimiento, basta para disminuir en una dozava parte la fuerza de gravedad en el ecuador. A esta rapidez de rotación se deben, sin duda alguna, las bandas de Júpiter y el achatamiento que presenta su diámetro polar.

El calendario jovial difiere mucho del que usamos los terrícolas, pues en el gigantesco mundo que vamos estudiando no existen estaciones. En efecto, como

hemos dicho, el eje de rotación de Júpiter es casi perpendicular al plano de su órbita, y la posición que presenta la Tierra el día del equinoccio, la conserva Júpiter perpetuamente, de manera que podemos decir que este mundo inmenso goza de una primavera eterna. La inclinación de su ecuador es tan sólo de tres grados, es decir, casi insignificante; de donde resulta que la duración del día y de la noche es la misma en todo el año y en todas las latitudes, y que el día es constantemente igual á la noche, ó algo más largo á causa de los crepúsculos; la temperatura, sea cual sea, permanece siempre igual á sí misma, sin que jamás se sientan los fríos del invierno, ni los calores tórridos del verano; los climas se suceden dulce y tranquilamente, según una gradación lenta y uniforme, del ecuador hacia los polos. En este mundo feliz no hay más que una inmensa zona templada, pues la tórrida se reduce á una línea de 3° á ambos lados del ecuador, y la glacial á un círculo de 3° de radio alrededor de cada polo.

El año de Júpiter, como hemos visto, dura nada menos que 4.332 días te-

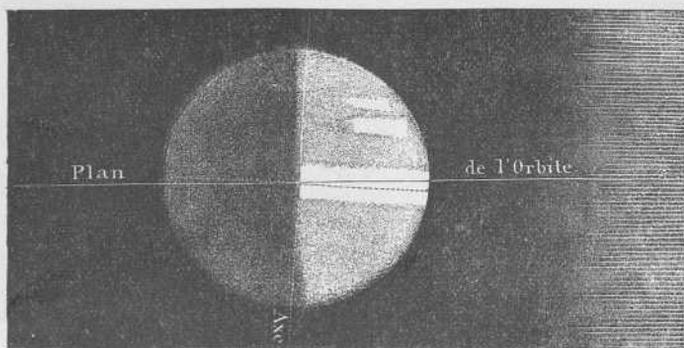


Fig. 173. — Posición de Júpiter sobre el plano de su órbita

restres ó algo menos de 12 años; en este largo período se comprenden 10.478 rotaciones ó sean 10.478 días sidéreos, y por lo tanto 10.477 días solares, esto es, uno menos; tan sólo hay, pues, unos 3 segundos de diferencia entre el día solar del planeta y el día sidéreo. Aunque acabamos de decir que en Júpiter reina una primavera eterna, es lo cierto que esta circunstancia tan sólo se aplica á la zona templada, que es, por lo demás, muy extensa; el verano reina durante el largo período de la revolución jovial en las zonas ecuatoriales al mismo tiempo que las zonas polares experimentan los hielos y fríos de un invierno continuo. Para formarse una idea de lo que son las alternativas de las estaciones, es preciso recordar que cada una de ellas dura próximamente unos tres años terrestres, que el verano y la primavera duran en junto más de 6 años y el otoño y el invierno sobre 5 años y siete meses.

Si representamos la masa del Sol por la unidad, la de Júpiter viene á ser de $\frac{1}{1080}$ ó unas 338 veces más considerable que la de la Tierra.

De la paralaje solar $8''.86$ se deduce que la masa de la Tierra es igual á $\frac{1}{325000}$, y por lo tanto la de Júpiter, según este nuevo cálculo, es unas 310 veces superior; su densidad es igual á 0,2426, si se toma como unidad la densidad me-

día del globo terrestre, y 1,37 si se compara con la densidad del agua. De modo que una esfera del tamaño de Júpiter y hecha de las siguientes substancias equilibraría el peso del colosal planeta:

| | Densidad |
|---------------------------|----------|
| Cal. | 1,58 |
| Carbón de piedra. | 1,38 |
| Sodio. | 1,42 |
| Azabache. | 1,32 |

La fuerza de la gravedad en la superficie de Júpiter equivale á 2,495 veces la de la gravedad terrestre; si admitimos, con Laplace, que el globo de Júpiter no sea homogéneo y que la densidad de las capas que componen la corteza del planeta vaya aumentando, como ocurre en nuestro globo, á medida que se acercan al centro de la esfera, resulta que las capas superficiales han de ser poco más densas que el agua. Es muy posible, pues, que la superficie de Júpiter sea líquida, por más que á causa de la escasa temperatura que disfruta el planeta, pudiera muy bien haberse solidificado la substancia que componga el límite ó periferia de este mundo colosal, porque no hay que olvidar, en efecto, que á la distancia á que Júpiter se halla del Sol, la intensidad de la luz y del calor que el planeta recibe, tan sólo llega á 37 milésimas de la cantidad total que cae en la Tierra. Júpiter, pues, como tenemos dicho, recibe 27 veces menos calor y menos luz que la Tierra; pero advirtamos que esto se refiere sólo á la insolación en los límites de las atmósferas de ambos planetas, y sería preciso, para deducir alguna consecuencia probable de este hecho sobre la meteorología jovial, conocer la constitución de su envoltura atmosférica y de su suelo. Y de este asunto vamos á ocuparnos ahora ligeramente.

Además de las manchas que han servido para determinar el período de rotación de Júpiter, se observan en su disco unas bandas oscuras, que dan una vuelta entera alrededor del planeta; estas bandas son paralelas entre sí y al plano de la eclíptica, ó sí se quiere, perpendiculares al eje de rotación.

Las bandas de Júpiter se ven con gran facilidad, aun con instrumentos de escasa potencia; así es que llama la atención que el ilustre Galileo no diga nada en sus obras acerca de esta particularidad.

Riccioli cuenta que las primeras observaciones de las bandas de Júpiter se hicieron en Roma por el P. Zucchi el 17 de mayo de 1630; cita también á los PP. Zuppi y Bartoli, jesuitas, y á Fontana, como personas que confirmaron la existencia de las bandas en 1633. Huyghens, en su *Systema Saturnium*, publicado en 1659, dice que ha visto varias veces las bandas de Júpiter más luminosas que el resto del disco; hoy día son notablemente más oscuras; pero ¿es esto razón para negar la observación del astrónomo flamenco? Las bandas desaparecen de vez en cuando, como veremos de aquí á poco, y sería muy posible, por tanto, que en la época de su reproducción, la materia que ocupaba el lugar de cualquiera de ellas se encontrase en un estado particular, que la hiciese propia para reflejar con más fuerza que las demás partes del disco la luz solar.

Las nuevas generaciones que parecen haberse desarrollado en el cielo y de las que pronto hablaremos, nos obligan á ser muy circunspectos cuando se tra-

ta de decidir sobre la realidad de observaciones antiguas, verificadas por astrónomos hábiles y de buena fe. Juan Domingo Cassini dice en una Memoria publicada en París en 1691 que las dos bandas oscuras y centrales de Júpiter se habían percibido ya en 1630; estas dos bandas son notables por su permanencia, si no absoluta, á lo menos relativa; Cassini afirmaba en 1681 que las había observado durante cuarenta años. Y decimos permanencia relativa, porque al parecer se borran estas bandas algunas veces. Hevelio cuenta, en efecto, en su *Sele-nografía*, que en 1647 no veía las bandas de Júpiter, por más que sus nubes eran claramente perceptibles. Herschel afirma también, en una Memoria publicada en 1793, que en una ocasión vió el planeta sin bandas de ninguna especie. En 1834 y 1835 no existía la banda boreal y se había borrado en toda la superficie del planeta. En diciembre de 1835 vió Maedler dividida en dos porciones longitudinales la banda austral.

Sea la que quiera la causa de estos fenómenos, el caso es que existen en Júpiter unas bandas de materia oscura, que aparecen en todas latitudes y dotadas de cierta tendencia á colocarse en zonas paralelas á las bandas ecuatoriales. Las bandas accidentales no dan, por lo común, una vuelta entera al planeta, y se encuentran interrumpidas de tal suerte que la solución de continuidad que aparece entre sus extremos puede servir como punto fiduciario para determinar el período de rotación de Júpiter; estas fracciones de bandas tienen una duración muy corta y nacen y desaparecen en el intervalo de varios días y á veces de algunas horas no más.

Entre las zonas de forma longitudinal se ven de cuando en cuando unas manchas particulares, de aspectos muy diversos, que han servido también para averiguar la duración del movimiento rotatorio del planeta. Si nos atenemos á las observaciones de Cassini y Maraldi, una de ellas, vista por primera vez en 1665, desapareció dos años después, reapareciendo en el mismo punto en 1672, 1677 y 1685 y también en 1713, época en que la observó Maraldi cuarenta y ocho años después de su primera aparición.

Pero la más notable de todas y la mejor estudiada es la que se empezó á observar con atención hacia 1878, aunque se conocía desde unos cuantos años antes. Su color era rojo y se hallaba situada en el hemisferio austral, sobre el paralelo de 30° , poco más ó menos, girando con la atmósfera y volviendo al meridiano inicial al cabo de $9^{\text{h}} 55^{\text{m}} 34^{\text{s}}, 2$. Su tamaño era enorme; medía 12 segundos de largo y 3 de ancho, lo que corresponde á unos 46.000 kilómetros y 14.000 respectivamente. Lohse, que la estudió cuidadosamente en Berlín, la creía exenta de movimiento propio; pero las observaciones posteriores, efectuadas por numerosos astrónomos, parecen demostrar que posee un movimiento retrógrado bastante pronunciado. En 1883 se debilitó extraordinariamente, siendo casi imperceptible en abril y mayo, y por completo invisible en junio. Por observaciones efectuadas en 1886 por M. Young, se comprobó que persistía el retardo gradual notado desde el principio de su aparición; su velocidad acelerada es tan uniforme, que permite determinar su situación futura con gran exactitud. En la fig. 174, que es una reproducción de una fotografía directa de Júpiter, obtenida en el Observatorio de París por los Sres. Henry, se ve perfectamente la enigmática mancha situada en el hemisferio austral del planeta (visión inversa).

En la lámina de la pág. 335 puede verse el aspecto que ofrecía Júpiter el 13 de octubre de 1856 según un dibujo magnífico hecho por Waren de la Rue. Se ve su disco atravesado por dos bandas anchas y oscuras, situadas á ambos lados del ecuador y divididas por una zona brillante; otras dos zonas, también luminosas, cruzada una de ellas por infinitas bandas mucho más estrechas, limitan las anteriores hacia el borde más próximo á los polos. El destello luminoso del disco hacia estas últimas regiones es mucho más débil que en la zona ecuatorial, y lo mismo en las dos zonas brillantes que limitan las bandas oscuras del planeta. Estos fenómenos son muy interesantes, pero no nos enseñan gran cosa respecto de la constitución física de Júpiter, y sobre la naturaleza de las bandas se han emitido diversas opiniones, que todas concuerdan, empero, en un hecho capital: el paralelismo de las bandas entre sí y respecto del plano del ecuador. Huyghens, en su *Systema Saturnium*, atribuye las bandas á nubes colocadas en la misma dirección que los círculos de latitud de Júpiter; este astrónomo también observó bandas más luminosas que el resto del disco.

Se ha notado que las bandas de Júpiter no se prolongan hasta los mismos bordes del disco; Beer y Maedler aseguran que se desvanecen $1^h 25^m$, poco más ó menos, después de su paso por el centro, es decir, cuando ocupan una posición cuya diferencia de longitud con el centro es propiamente de 54^0 ; esto supone una atmósfera muy densa, si se admite que la causa de la debilitación en la visibilidad de las manchas provenga de la interposición de capas atmosféricas cada vez más profundas. La luz reflejada por las partes diáfanas de la atmósfera debe crecer, en efecto, á medida que los rayos visuales atraviesan más oblicuamente estas capas, es decir, según que el ojo observa regiones más próximas á los bordes. Lo contrario sucede con las nubes ó partes opacas de la atmósfera de Júpiter, que parecen tanto menos brillantes cuanto con más oblicuidad son heridas por los rayos del Sol. Así, pues, por una parte, las manchas y bandas oscuras parecen más claras á medida que se alejan del centro, y las zonas brillantes pierden su resplandor hacia los bordes. La diferencia de destellos entre unas y otras disminuye de tal suerte que apenas pueden distinguirse.

En resumen, la explicación de las bandas luminosas y oscuras es bastante satisfactoria, si se consideran las zonas brillantes como formadas por masas de nubes, y las otras como las partes transparentes de la atmósfera. Pero si lo que se percibe á través de estas regiones claras es la parte sólida del planeta, ¿qué son las manchas más oscuras, permanentes ó no, que han servido para averiguar el período de rotación? Si son, por ejemplo, partes líquidas de la superficie, ¿por qué no concuerdan entre sí, y no ofrecen todas el mismo valor para el tiempo que emplea Júpiter en dar una vuelta sobre su eje? ¿Por qué aumenta el período de rotación cuanto más ecuatoriales son las manchas? El movimiento propio que esta diferencia de velocidad nos obliga á atribuir á las manchas, se explica admitiendo la existencia de unos contra-alisios, análogos á los vientos



Fig. 174. — Fotografía directa de Júpiter con la mancha roja
(*Bol. de la Soc. Ast. de Francia.*)

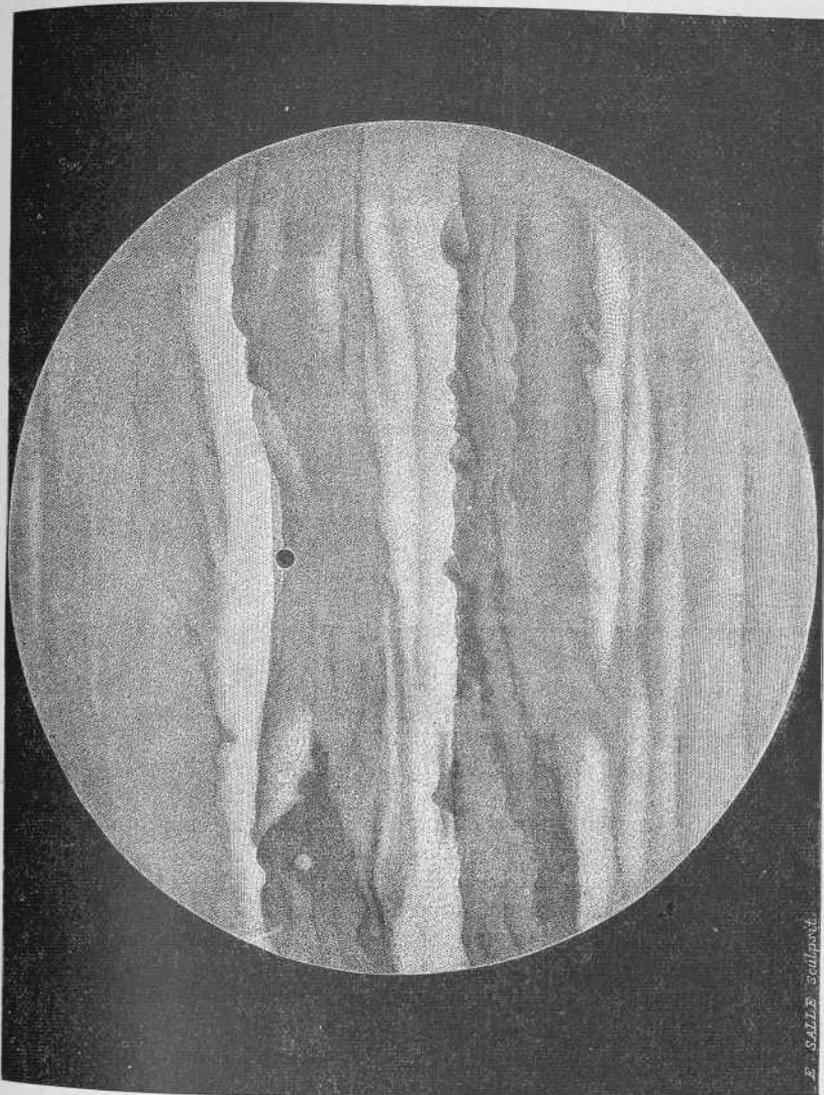
superiores que reinan en nuestro globo, sobre la región de los alisios propiamente dichos.

La hipótesis que hoy día se admite es la de Fontenelle, y aceptada por Herschel, de los vientos alisios, cuyo efecto principal, como manifestamos, consiste en reunir los vapores ecuatoriales en bandas ó nubes accidentales, dotadas de distintas velocidades, de donde proceden los diversos valores que se han obtenido para el período de rotación. Antes hicimos ver que Arago había presentado contra esta teoría la objeción de que estos vientos deberían soplar en una dirección opuesta á la de los alisios terrestres, puesto que estos últimos tienden hacia el Oeste y han de retardar el movimiento de rotación en vez de acelerarlo. Para resolver esta dificultad basta admitir que el movimiento propio de las manchas se produzca por las corrientes alisias superiores.

Pero aquí debemos hacer notar que, aun considerando los alisios propiamente dichos, como los que originan el movimiento real de las manchas, también es posible explicar el fenómeno. Si las manchas son accidentes atmosféricos dotados de movimiento propio, según creen todos los astrónomos, no se determina la rotación del globo de Júpiter, sino la de las nubes, ó mejor dicho, la diferencia de duración de la rotación de Júpiter y del movimiento propio de la nube; ahora bien, si se supone que esta nube se forme en una latitud dada, y que luego se vea arrastrada hacia el ecuador por una causa análoga á la que produce los vientos alisios terrestres, su movimiento de rotación experimentará un retardo, tanto más considerable, cuanto mayor sea la latitud del punto en que se formó la nube; las manchas que arranquen de lugares situados en las proximidades del ecuador se moverán, al parecer, con más velocidad que las otras, y esto es precisamente lo que revela la observación.

En verdad, para saber cuál es la explicación exacta, si los fenómenos de que se trata se deben á la existencia de los alisios, ó de los contra-alisios, sería necesario efectuar observaciones más rigurosas, fáciles de hacer hoy día con los hermosos instrumentos que existen en los observatorios; mientras tanto, tan sólo podemos basarnos en conjeturas. Antes emitimos la opinión de que los fenómenos observados en la superficie de Júpiter ofrecen cierta analogía con los fenómenos de las manchas solares, analogía que se justifica plenamente, al menos en lo relativo á los movimientos propios de las manchas, en uno y otro cuerpo. Faye explica los torbellinos ó trombas del Sol por un efecto mecánico, que se debe á la diferencia de velocidad de los elementos atmosféricos de las diversas latitudes; en Júpiter la velocidad lineal de la rotación es seis veces más considerable que la de un punto del globo solar situado á igual latitud; la diferencia de velocidad de dos zonas contiguas crece y disminuye con mayor rapidez, y la formación, por lo tanto, de los torbellinos debe ser más frecuente.

Las bandas son, por lo general, de un color gris, que se destaca fácilmente del tono del planeta, el cual se presenta algo sonrosado. Las cinco reproducciones de la fig. 175 son unas fototipias de Júpiter, sin retocar y tales cuales las dan las negativas obtenidas en el Observatorio de Lick en 1898, con unos cuantos minutos de intervalo de unas á otras, así que se comprueban mutuamente; como son instantáneas, pues el movimiento propio del planeta no permite exposiciones prolongadas, no presentan los detalles de los dibujos hechos á mano, pero



JÚPITER SEGÚN UN DIBUJO DE WARREN DE LA RUE

(Bandas oscuras y bandas luminosas; paso y sombra de un satélite sobre el disco del planeta)

E. SALLÉ sculptor.

confirman el carácter general de estos últimos, como el de la figura 176; con telescopios poderosos suelen aparecer las bandas de color pardo, principalmente las más anchas; á veces se han visto con gran fuerza de color, cobrizo, púrpura, rojo y anaranjado; la banda superior, ó más inmediata al polo Sur, marcada con una *p* en dicha figura 176, es púrpura; la siguiente también presenta el mismo color; las del centro, señaladas con una *b*, son pardas, y una ancha zona, *v o*, terminada por el Norte por otra faja estrecha de color purpurino, es de color verde aceitunado.

La zona brillante ecuatorial, en particular, se halla sujeta á variaciones de color, que hasta aquí no han sido explicadas, pues de blanca pasó á verde amarillento, á gris, rojo de cobre, y por último, en el espacio de un año, á ocre. Es.

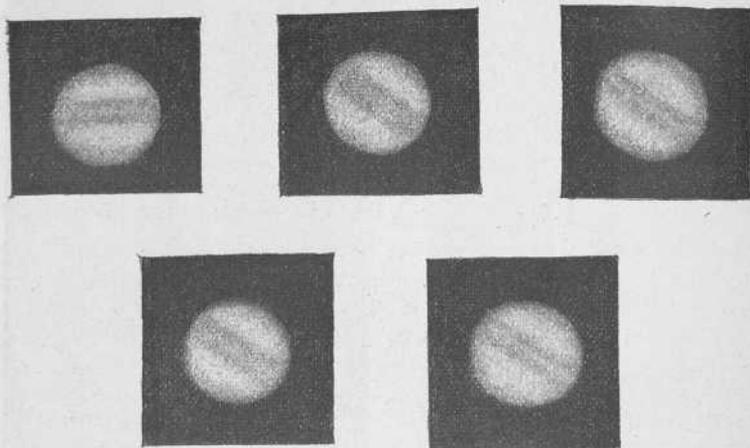


Fig. 175. — Fotografías instantáneas de Júpiter, sin retocar
(Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia)

tas curiosas variaciones corresponden probablemente á cambios atmosféricos, que algún día llegará á descubrir el análisis espectral.

En resumen, el estudio de las bandas y manchas de Júpiter manifiesta que este planeta se halla rodeado de una atmósfera probablemente muy densa, en la que se encuentran en suspensión grandes masas de vapores análogas á nuestras nubes. Algunos accidentes de estos ofrecen una gran duración y sus movimientos propios son muy lentos; ciertas manchas examinadas por Beer y Maedler estaban animadas tan sólo de una velocidad de 35 leguas en 24 horas, que es la velocidad de una brisa suave en la Tierra. La estabilidad de la atmósfera de Júpiter se debe, sin duda, á las variaciones lentas de las estaciones, y también á la intensidad considerable de la gravedad en su superficie. Las bandas de Júpiter varían de forma, de número, de posición, de magnitud y de velocidad; lo mismo ocurre con las manchas oscuras ó brillantes que con mayor frecuencia se distinguen en la zona ecuatorial y en las dos zonas oscuras que la limitan en cada hemisferio; sin embargo, unas y otras ofrecen cierta permanencia relativa.

Si los cambios que sufren los accidentes de la atmósfera de Júpiter se hallan sujetos á cierto período, podrían compararse estos períodos, ora con las variaciones de sus distancias al Sol, ya con la posición relativa de los astros inmediatos, primero de sus satélites, luego de Marte y de Saturno. Estas últimas consideraciones tienen cierta fuerza, si se observa que la escasa inclinación del eje de movimiento, la longitud del año y la lenta variación que de ello resulta para la posición y la distancia del Sol, en cada punto del globo de Júpiter, son otro tantos elementos de estabilidad en sus condiciones atmosféricas; y como hemos dicho anteriormente, cada clima goza de una primavera continua, que tan sólo se perturba alguna vez por causas exteriores. Un astrónomo inglés de extraordinario mérito, M. Ranyard, ha hecho notar la coincidencia de varias épocas de máximo de manchas de Júpiter, en particular de manchas brillantes observadas, por ejemplo, en 1858, 1859 y 1860 por Huggins, Lassell, Airy, Keith, Murray, Webb, y en tiempos más recientes por Mayer, Newcomb, Flammarión y otros, con los períodos de máxima de las manchas solares. «Si un examen más minucioso de las observaciones de Júpiter confirma la suposición de que este planeta y el Sol estén sujetos á períodos iguales, en cuanto se relaciona con las perturbaciones de sus superficies, hay que deducir necesariamente que las variaciones del planeta

están ligadas íntimamente á algún fenómeno cósmico, y no dependen, como las modificaciones de la fotosfera, de una especie de marea.»

La Luna, como indicamos á su tiempo, puede ocultar á Júpiter; pero este fenómeno es sumamente raro, y conviene, por lo tanto, que dediquemos algunas líneas á la descripción de las últimas ocultaciones observadas en tiempos recientes. En 1889 hubo hasta trece ocultaciones de Júpiter; pero debido á diversas circunstancias, sólo pudo observarse en buenas condiciones la del 7 de agosto. En el Observatorio de Juvisy, cerca de París, propiedad de M. Flammarión, se verificó la inmersión del limbo anterior de Júpiter á 7^h 17^m de la tarde, y la del limbo posterior, 1^m 50^s después, hallándose el Sol sobre el horizonte. La inmersión pudo observarse en condiciones en extremo favorables, porque la Luna era casi nueva, y por lo tanto, el planeta desapareció detrás del borde obscuro. En la fig. 177, que abraza el campo del anteojito, se ve á la izquierda parte del disco de nuestro satélite, con sus cráteres y circos; sigue luego un espacio vacío, que también es de la Luna; pero que no se ve por no estar ilumina-

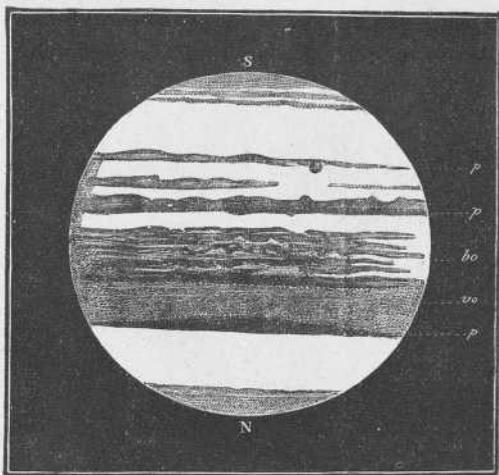


Fig. 176. - Bandas coloreadas de Júpiter

nado por el Sol, y luego el planeta Júpiter, ocultado ya hasta la mitad de su disco, en el que se distinguen perfectamente las bandas.

Poco más de una hora ($1^h 12^m$) permaneció Júpiter detrás del globo de la Luna, y la aparición de un satélite por el borde iluminado anunció que poco después se verificaría el fenómeno de la emersión. En la fig. 178, complementaria de la anterior, se representa la mitad del disco del planeta, fuera del borde lunar; en éste se advierte, proyectándose sobre el disco de Júpiter, un filete oscuro, que fué observado también por los astrónomos de Marsella, Florencia, Constantinopla, etc., y que algunos atribuyen á la atmósfera lunar. Otros obser-

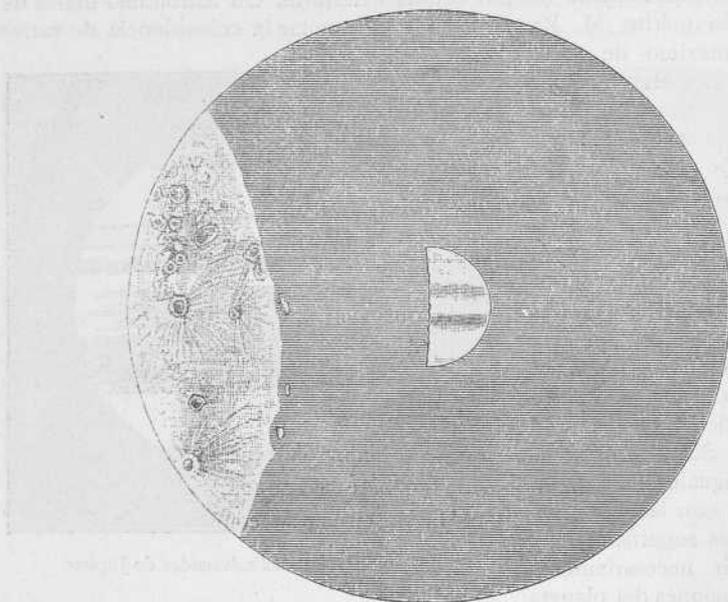


Fig. 177. — Desaparición de Júpiter por el borde lunar invisible. (Imagen inversa.)
(Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia.)

vadores, por el contrario, vieron proyectarse con gran distinción las montañas de nuestro satélite sobre el disco de Júpiter.

En 1893 ocurrieron otras ocultaciones, observadas en condiciones desfavorables.

El descubrimiento de los satélites de Júpiter fué uno de los primeros resultados que se obtuvieron de aplicar el telescopio al estudio de los astros.

El 7 de enero de 1610, hallándose en Padua Galileo, distinguió cerca del planeta, que en su antejo aparecía con un disco circular bien perceptible, tres estrellas pequeñas, dos al Oriente y hacia el Occidente la tercera. Al otro día vió que las tres estrellitas estaban al Occidente, y al otro tan sólo pudo percibir dos, y para eso, situadas al lado oriental del disco de Júpiter. Estos fenómenos no podían explicarse por los movimientos propios del planeta, y era indispensa-

ble admitir que las estrellas estaban animadas de ciertos movimientos particulares. Galileo, sorprendido con estos resultados, observó con mayor atención, y el día 13 del mismo mes distinguió una nueva estrella, siendo con ésta cuatro el número de los astros descubiertos, y de sus estudios dedujo que en el firmamento existía un astro á cuyo alrededor circulaban unos planetas secundarios, como los antiguos planetas conocidos circulan alrededor del Sol; era el mundo de Copérnico en miniatura, y las ideas de este grande hombre no podían refutarse ante estas pruebas materiales; así se cuenta que cuando Keplero llegó á saber el resultado de las observaciones del ilustre astrónomo de Florencia, exclamó, parodiando las palabras del emperador Juliano: ¡Galilæe, vicisti!

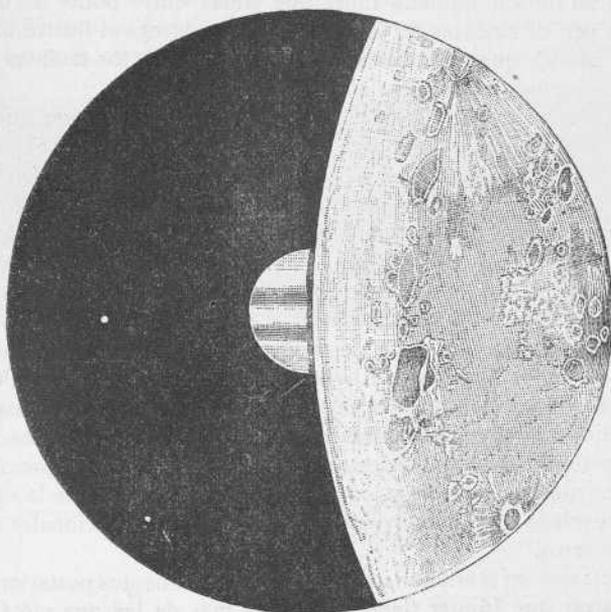


Fig. 178. - Reparación de Júpiter por el borde iluminado. (Imagen inversa.)
(Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia.)

Quiso Galileo que las nuevas estrellas descubiertas se llamasen astros de Médicis, pero prevaleció el nombre de satélites de Júpiter. En una carta escrita por Galileo al gran duque de Toscana en 1612, enumera los resultados siguientes, como duración de la revolución de los satélites de Júpiter.

| | |
|---------------------------|-----------------------|
| Primer satélite | 1 día 18 horas |
| Segundo » | 3 » $13\frac{1}{3}$ » |
| Tercero » | 7 » 4 » |
| Cuarto » | 16 » 18 » |

Pretenden algunos que el descubrimiento de los satélites de Júpiter fué acogido en el mundo entero con satisfacción universal; pero el examen de varios

documentos auténticos demuestra que no sucedió así. Una Academia en pleno, la de Cortona, pretendía que los satélites eran resultado de una ilusión óptica, producida por el anteojo. En los diálogos contenidos en la obra de Sizio pregunta uno de los interlocutores por qué se ven únicamente cuatro satélites alrededor de Júpiter, y le contestan: «Porque el anteojo es adecuado para producir semejantes apariencias á la distancia de Júpiter y no á otras.» (Venturi, tomo I, pág. 126.) Clavio decía en octubre de 1610 que para ver los satélites era preciso de antemano construir un anteojo que los engendrara; cierto es que en el mes de diciembre siguiente abandonó esta absurda opinión, tan pronto como hubo observado por sí mismo los astros referidos. Galileo cuenta que había en Pisa un filósofo llamado Libri, que jamás quiso poner el ojo en un refractor para ver los satélites de Júpiter. «Espero, agrega el ilustre filósofo (Libri acababa de morir), que no habiendo querido ver jamás los satélites en la Tierra, los habrá distinguido al dirigirse al cielo.»

Llegóse hasta á recurrir á las causas finales para demostrar que no existían los satélites. Horky preguntaba para qué podrían servir, desde el punto de vista astrológico, estos cuatro satélites de Júpiter anunciados en el *Nuntius sidereus*. Woderbonio, autor escocés, contemporáneo de Galileo, respondía con gran donaire y oportunidad: «Servirán para confundir á Horky y á todos los astrólogos supersticiosos.»

Después de haber negado la existencia de los cuatro satélites de Júpiter, hubo algunos astrónomos que acusaron al gran filósofo florentino de que tan sólo había descubierto una parte de la verdad. Scheiner declaró que en vez de cuatro, son cinco los satélites, y Rheita elevó su número á nueve. Otros llegaron á contar hasta doce. Pero hoy día es evidente que los pequeños astros que con tanta liberalidad se agregaban á los cuatro que Galileo había descubierto, tan sólo podrían ser algunas débiles estrellas, á las que Júpiter se aproximaba en virtud de su movimiento propio, y los instrumentos poderosos de la época moderna no han revelado ni el menor vestigio de los satélites adicionales de Scheiner, Rheita y los otros.

Esto decíamos en la edición anterior, y descubrimientos posteriores han venido á demostrar que Júpiter tiene un satélite más de los que vio Galileo, pero que era imposible que hubiera podido distinguirlo ningún astrónomo de aquella época. En septiembre de 1892 se recibió en Europa, causando el asombro consiguiente, un cablegrama de Nueva York, anunciando que el profesor Barnard, del Observatorio de Lick, situado en el Monte Hamilton (California), había descubierto un quinto satélite de Júpiter, tan sumamente tenue, que sólo cabía comparar su brillo con el de una estrella de 13.^a magnitud. Acogida la noticia al principio con cierta desconfianza, fué al cabo confirmada por los pocos astrónomos que poseen instrumentos capaces de columbrar objetos tan delicados.

Ya sabemos, pues, que Júpiter está acompañado por cinco estrellas pequeñas, que transporta consigo en las diversas posiciones que su movimiento propio le hace ocupar en el firmamento. Estos astros, llamados satélites, circulan alrededor del centro del planeta, de Occidente á Oriente, y describen órbitas de distintas magnitudes, casi circulares.

Con un anteojo de moderada fuerza óptica se ven cuatro de las lunas jovia-

les oscilando en torno del colosal cuerpo primario (fig. 179); sus posiciones relativas cambian en el curso de una sola noche, siendo este uno de los espectáculos más hermosos que podemos contemplar en el cielo.

Se llama primer satélite al que se aleja menos de Júpiter y cuarto al que más se separa del cuerpo principal; el segundo y el tercero, en este orden, son los que se separan del planeta á distancias intermedias entre las del primero y el cuarto; se designan por los números romanos que corresponden á sus respectivas distancias: así I indica el primer satélite y IV el cuarto. Esto era hasta 1892, pues el satélite descubierto el 9 de septiembre de ese año, aunque lleva el número V, es el más próximo al planeta.

Los períodos de sus revoluciones son muy desiguales, y unas veces se les ve agrupados (hablamos de los principales) dos á dos en el lado oriental ú occidental del planeta; en otros casos se distinguen á un lado tres de los satélites, y el cuar-

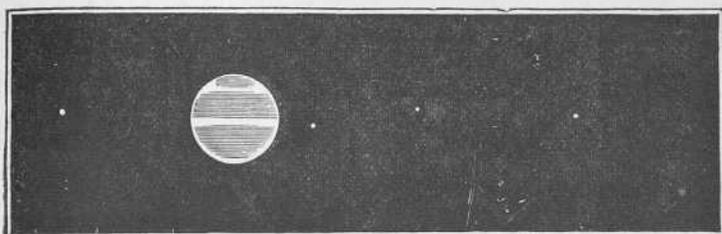


Fig. 179. - Júpiter y cuatro de sus satélites

to solo, en el lado opuesto; por último, también se perciben los cuatro juntos en un mismo lado del cuerpo primario, formando una línea recta.

He aquí un cuadro con los principales elementos de los satélites de Júpiter:

| | Distancias medias al primario | Revoluciones en días sidéreos |
|---------------------|----------------------------------|--|
| Io | 107.588 leguas | 1 ^d 18 ^h 28 ^m |
| Europa | 171 100 » | 3 13 14 |
| Ganimedes | 273 000 » | 7 3 43 |
| Calisto | 480 100 » | 16 16 32 |
| V. | 45.210 » | 0 11 57 |

Estas distancias se refieren á los centros de los satélites y de Júpiter, por manera que para averiguar la distancia de los puntos más cercanos de sus superficies, sería preciso restar de estos números la suma de los radios de cada satélite y de Júpiter.

A causa de la pequeña inclinación de los planos de sus órbitas sobre el plano de la órbita de Júpiter, cuando en cada revolución pasan entre el cuerpo primario y el Sol, proyectan su sombra sobre el planeta, produciendo unos verdaderos eclipses de Sol; esto se entiende respecto de las primeras lunas y de la quinta. Júpiter también proyecta en el espacio un inmenso cono obscuro, algo elíptico,

puesto que su base, que la forma el planeta, es achatada, y cuya longitud llega á 22 millones de leguas. La sección de este cono, á la distancia del satélite más lejano, tiene un radio cuyas dimensiones aparentes casi no llegan á 2° , pero á la distancia del primero subtiende este radio un ángulo de 19° ; ahora bien, la inclinación de las órbitas de los dos primeros satélites ó del quinto sobre el ecuador de Júpiter es casi nula, pues como hemos dicho, no llega casi á 4° , luego penetran siempre en el cono de sombra, mientras que el IV sólo lo verifica en

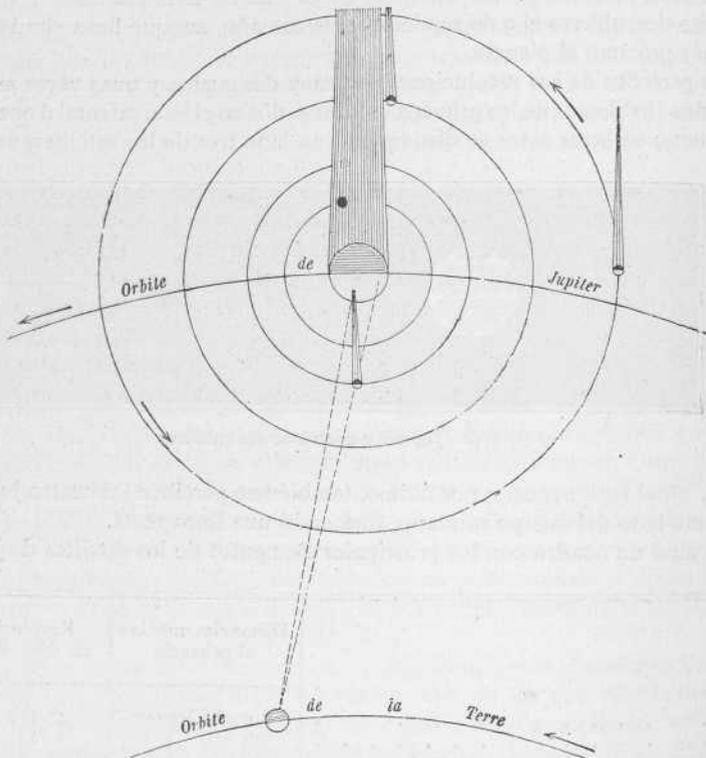


Fig. 180. — Eclipses de los satélites de Júpiter

determinadas circunstancias, y por lo general pasa por encima ó por debajo del cono de sombra. De aquí resulta un eclipse de Sol para cada uno de estos cuerpos, y tanto para Júpiter cuanto para la Tierra, un eclipse del satélite oculto en la sombra; además, según las posiciones diversas de Júpiter y de la Tierra respecto del Sol, ocurre que los satélites se ocultan detrás del disco de Júpiter antes de su inmersión en la sombra y aun después de su egreso.

Este curioso fenómeno se explica muy fácilmente: como Júpiter es un cuerpo opaco, proyecta tras sí el cono de sombra de que hemos hablado, cuyo eje es la recta que une su centro y el del Sol y cuyas aristas son las líneas rasantes á los bordes de ambos astros; en este cono no penetra ni un solo rayo de luz so-

lar, y cuando los satélites lo atraviesan, se hacen completamente invisibles, pues como el cuerpo primario, sólo brillan por la luz que el Sol les presta. Este fenómeno es en un todo comparable al que nos ofrece nuestro satélite en los eclipses totales de Luna.

Los satélites de Júpiter desaparecen algunas veces á una distancia sensible del borde del planeta; si la inmersión del I satélite se efectúa en una época dada, á una distancia apreciable del borde del cuerpo primario, la salida del cono de sombra, ó la emersión, se verificará en una parte ó región del cono invisible desde la Tierra, porque la tapa el globo opaco de Júpiter; de modo que no será posible ver, en el mismo día, la inmersión y la emersión de este satélite.

El mismo razonamiento es aplicable al II satélite; en cuanto al III y al IV, como atraviesan el cono más cerca de su vértice, por consecuencia en puntos más distantes del disco opaco del planeta, y como sus órbitas se encuentran sensiblemente inclinadas sobre el plano de la eclíptica, se ven muchas veces en la misma noche las inmersiones y emersiones que se suceden. La desaparición completa de los satélites durante su paso por el cono de sombra, prueba que no reciben luz ninguna del hemisferio de Júpiter no alumbrado por el Sol, y que, por lo tanto, el planeta

no debe ser fosforescente, como se pretende aún por varios astrónomos.

Entre los movimientos de los tres primeros satélites de Júpiter existe una relación particular, de la que resulta esta consecuencia, demostrada por las observaciones: que los tres satélites más inmediatos á Júpiter no pueden sufrir eclipses simultáneos; cuando el segundo y tercero están eclipsados al mismo tiempo, el primero se encuentra en conjunción con el planeta; si los dos pasan delante de Júpiter de modo que produzcan sobre su disco eclipses de Sol simultáneos, el primer satélite se encuentra en oposición, es decir, eclipsado. La circunstancia que acabamos de señalar no es aplicable sino á los eclipses reales de los satélites, es decir, á sus pasos por el cono de sombra, y no á las ocultaciones por el disco solamente, ocultaciones que bastan para hacerlos desaparecer á los ojos de los observadores situados en la superficie de la Tierra.

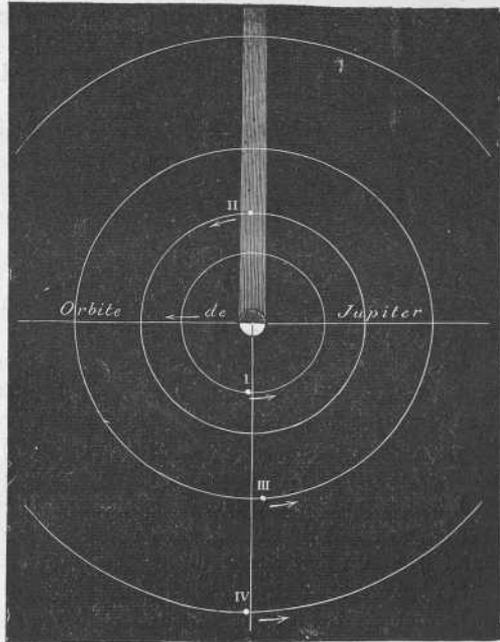


Fig. 181. — Aspecto de Júpiter sin satélites
el 21 de agosto de 1867

Ocurre algunas veces que los cuatro satélites desaparecen á un mismo tiempo de nuestra vista, porque unos están eclipsados ú ocultos y los otros se proyectan sobre el disco del astro principal; esta circunstancia se presentó en la noche del 21 al 22 de agosto de 1867, cuatro días antes de la oposición. De las 10^h 13^m á 11^h 58^m parecía Júpiter desprovisto de lunas (fig. 181); el primero, tercero y cuarto satélites se encontraban delante del disco, con el cual se confundían, y el segundo se hallaba eclipsado por su paso á través del cono de sombra que Júpiter proyecta en el espacio; este fenómeno se repite muy de tarde en tarde.

Después de la fecha indicada se han verificado otras desapariciones, aunque con distinta disposición de los satélites, el 22 de marzo de 1874 y el 15 de octubre de 1887. La primera desaparición semicompleta ocurrirá el 8 de junio de 1915.

Cuando los satélites pasan, pues, entre Júpiter y el Sol, proyectan su sombra sobre el planeta y producen, como hemos dicho, para los habitantes de Júpiter verdaderos eclipses de Sol. Estas sombras, para un observador situado en la Tierra, no pueden confundirse con las manchas ordinarias de Júpiter; son por lo general redondas, negras, bien delineadas, y parece que se mueven poco á poco, con igual rapidez en el centro que hacia los bordes del planeta; el período de su aparición sobre el disco de Júpiter es igual al que se deduce del movimiento del satélite que lo origina.

Las sombras se distinguen, bien á la izquierda, ora á la derecha, según las posiciones respectivas de la Tierra, de Júpiter y del Sol; á veces se ven solas, otras al mismo tiempo que el satélite, y siempre presentan fenómenos interesantísimos dignos de estudio, ya sobre el mismo Júpiter, bien acerca de los pequeños cuerpos que lo acompañan.

Y ahora podemos volver á afirmar que Júpiter no es luminoso por sí mismo, pues las sombras de sus satélites son perfectamente negras, y en otro caso presentarían algún ligero resplandor.

En las épocas en que las sombras parecen moverse según cuerdas del disco de Júpiter, se proyectan los satélites *mismos* sobre el planeta, siguiendo á las sombras antes de la oposición del planeta, y precediéndolas después de la oposición. Durante estos pasos describen los satélites también cuerdas del disco; á menudo parecen como manchas brillantes y en otras ocasiones como puntos oscuros menos extensos que las sombras propiamente dichas; esta última circunstancia puede explicarse, naturalmente, suponiendo que entonces existiesen en la superficie de los satélites partes materiales ó atmosféricas que reflejasen mucha menos luz que las regiones inmediatas.

Cuando los satélites, completamente luminosos, pasan sobre el planeta, se ha notado que se distinguen fácilmente cerca del borde del disco, y que desaparecen hacia el centro, de lo cual se ha deducido que el limbo del planeta es menos luminoso que el centro y que Júpiter debe de estar rodeado de una atmósfera. El esplendor y brillo de los satélites es variable durante sus pasos, según que atraviesen una banda oscura ó una zona brillante; por lo común, como decimos, el satélite es sólo visible cerca de los bordes del planeta, de modo que á su ingreso se le percibe; al aproximarse á las partes centrales más brillantes se desvanece, y aparece de nuevo cerca del borde occidental.

El 25 de marzo de 1874 se efectuó una observación análoga, á un mismo tiempo, en París por Flammarión, en Lovaina por Terby y en Inglaterra por Knobel (fig. 182). A las 8^h 30^m se veían una sobre otra las negras sombras de los satélites II y III. El primero era invisible y el segundo aparecía como una mancha oscura que apenas se destacaba de una estrecha banda gris, más angosta que la sombra. Hora y media después, á las 10^h 0^m, ambos satélites se distinguían cerca del borde occidental, seguidos por sus sombras, y presentaban la particularidad de que el III era el blanco, si bien entonces se proyectaba sobre una parte de la banda más clara que las regiones centrales.

Los diámetros de los satélites son muy difíciles de medir, á causa de su pequeñez, según se ven desde la Tierra; pero desde Júpiter han de parecer tan gran-

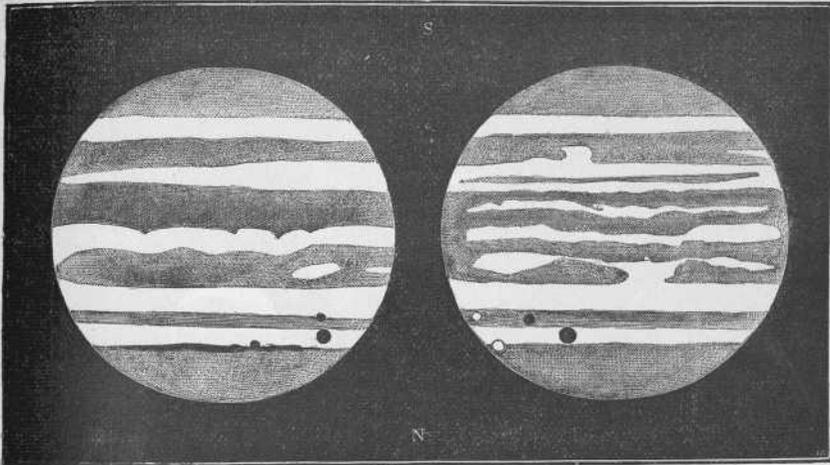


Fig. 182. — Pasos del II y III satélites por el disco de Júpiter el 25 de marzo de 1874, según los dibujos de Knobel

des, al menos, como nuestro satélite; los diámetros angulares que vamos á transcribir son relativos á la distancia media de Júpiter á la Tierra, la cual, como sabemos, es igual próximamente á cinco veces el radio de la órbita terrestre; fueron obtenidos en 1895 por M. Barnard, el descubridor del V satélite.

| | | |
|-----|--------------------|------|
| I | Satélite.. | 1"05 |
| II | » | 0,87 |
| III | » | 1,52 |
| IV | » | 1,43 |

Los diámetros reales de estos cuerpos, expresados en leguas, son los siguientes, con arreglo á las mediciones de M. Barnard, de 1895.

| | | |
|-----|-------------------|------------|
| I | Satélite. | 986 leguas |
| II | » | 820 » |
| III | » | 1.431 » |
| IV | » | 1.346 » |

De aquí se deduce que el segundo satélite tiene un volumen casi igual al de nuestra luna y que los otros tres son mucho más grandes.

En 1797 presentó Herschel á la Sociedad Real de Londres los resultados de las numerosas observaciones que había efectuado sobre las intensidades y magnitudes comparativas de los satélites de Júpiter; de estas observaciones resulta que las intensidades luminosas de los satélites son muy variables, y que las magnitudes aparentes de estos astros se hallan sujetas á cambios de cierta importancia.

Las variaciones de magnitud y de intensidad prueban evidentemente que los satélites están cubiertos de manchas más ó menos reflectoras y que giran sobre sí mismos. Valiéndose de una operación gráfica, y marcando sobre las cuatro órbitas los lugares en que, durante un largo período, se percibía cada satélite en su máximo y en su mínimo de magnitud, pudo Herschel reconocer que estos fenómenos se reproducen casi siempre en las mismas regiones; los satélites de

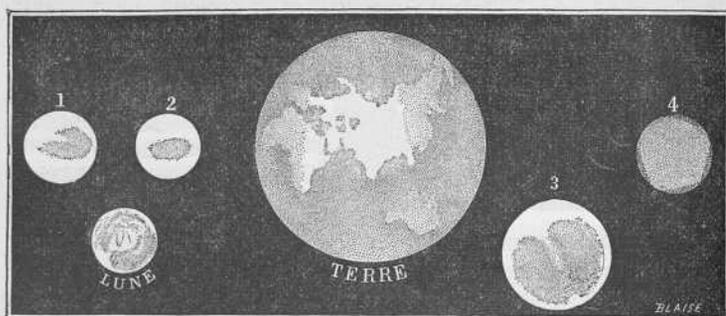


Fig. 183. - Magnitudes comparadas de la Tierra, la Luna y los satélites de Júpiter

Júpiter giran, pues, sobre sus ejes respectivos, como la Luna, en un tiempo igual al que emplean en verificar una revolución en torno del planeta.

La primera noticia sobre el movimiento de rotación de los satélites se debe á Cassini y se encuentra en sus *Elementos de Astronomía*; este ilustre astrónomo hizo ver que, al pasar los satélites sobre el disco, presentan á veces un diámetro menor que sus sombras, y que fuera del disco su brillo es variable; el tercero parece en ocasiones mayor que los dos primeros y otras veces igual á éstos. Explicaba estas variaciones suponiendo que los satélites tenían ciertas manchas que unas veces se encontraban en el hemisferio visible desde la Tierra, y otras en el opuesto, lo que demuestra la existencia de un movimiento giratorio.

Las manchas de los satélites no se han percibido nunca cuando estos pequeños astros se encuentran fuera del planeta, aunque para conseguirlo se haya hecho uso de los instrumentos más poderosos y perfectos; y, por el contrario, se distinguen con gran facilidad cuando los satélites recorren una parte de su órbita, proyectándose sobre el disco de Júpiter. Este fenómeno es digno de la mayor atención, pues como dice Bailly, «las manchas son detalles de una superficie, y es muy raro que se distingán los detalles de cosas cuyo conjunto escapa á nuestra vista por su pequeñez.»

Es cosa sabida que un objeto luminoso muy pequeño no se encuentra nunca bien limitado en su contorno, y que se presenta como una aglomeración de luz casi informe, de donde parten en todos sentidos rayos divergentes de más ó menos extensión; por causas que dependen de la conformación de nuestros ojos y que no están todavía perfectamente analizadas, á pesar de los hermosos trabajos de Helmholtz, desaparecen estos rayos divergentes en un antejo cuando el objeto luminoso subtiende un ángulo sensible; esto es lo que ocurre, por ejemplo, con el más brillante de los planetas, con Venus, cuyo borde ó limbo se ve perfectamente determinado y sin estos rayos divergentes á que hacemos referencia, como sucedería si se observase aisladamente cada uno de los puntos del borde. Apliquemos ahora estos hechos positivos al caso de que se observe un satélite de Júpiter.

Si el satélite aparece fuera del planeta, se verá su imagen confusa y rodeada de rayos divergentes, que se proyectarán sobre las manchas, si existen, haciéndolas invisibles. Si el satélite se proyecta sobre el planeta, aparecerá su disco claramente detallado por pequeño que sea; ningún efecto extraño viene á cubrir las manchas negras, y por esta causa se hacen visibles, por el contraste que existe entre su escasa luz y la de las partes inmediatas.

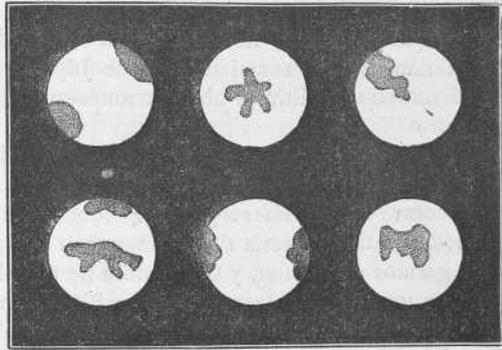


Fig. 184. — Manchas del III satélite observadas por Secchi en 1855

Algunos astrónomos han rechazado la aserción de que todos los satélites de Júpiter giren sobre sus ejes respectivos, en el mismo tiempo que emplean en dar una vuelta alrededor del cuerpo primario; el P. Secchi observó el III satélite en agosto y septiembre de 1855, distinguiendo en su superficie unas manchas que en varias horas cambiaban de forma y de posición (fig. 184), lo que indica un movimiento rotatorio mucho más rápido que el de revolución. Aún nos queda por saber si las manchas oscuras que determinan las variaciones de brillo de los satélites son manchas permanentes ó accidentes variables de la atmósfera de estos pequeños cuerpos.

Aunque los satélites no brillan con luz propia, sino por la que el Sol les presta, no aparecen todos del mismo color, sea á causa de las propiedades particulares de la materia sólida de que están formados, bien por un efecto de su atmósfera. Herschel, en 1797, creía que el I satélite era siempre blanco, aunque más ó menos luminoso; que el II pasaba del blanco ceniciento al blanco azulado; que el III era siempre blanco, y que el IV, por último, aparecía unas veces rojizo y otras anaranjado.

Ber y Maedler han visto en todas sus observaciones que el IV satélite presenta un color decididamente azulado; el III les pareció amarillo; la luz del I

y II, sobre todo cuando estos dos satélites estaban muy cerca del III, parecía tirar hacia el azul.

Klein, en 1867, creyó ver que el I satélite es azulado; el II de igual color; el III rojizo, en cual observación conviene el P. Secchi, y el IV rojo asimismo.

El profesor Barnard, que se ha ocupado de manera tan distinguida del estudio de estos pequeños cuerpos, valiéndose del gran refractor del Observatorio de Lick, descubrió recientemente en el I satélite un cinturón brillante ecuatorial y un casquete obscuro polar, de aspecto permanente y que forman, á no dudar, parte integrante del satélite, pues son siempre visibles cuando éste pasa en condiciones favorables. Si lo verifica, por ejemplo, sobre la parte oscura del planeta, aparece el cinturón blanco con toda distinción, pero los casquetes se ven con gran dificultad; por el contrario, cuando el satélite pasa por una región brillante, el cinturón blanco se pierde en el fondo brillante y las porciones polares se muestran como dos manchas separadas oscuras, que hacen que el satélite aparezca doble. Los fenómenos observados en este satélite indican que su condición física es semejante á la de Júpiter.

Estas son las últimas observaciones que se han hecho sobre los satélites del inmenso planeta.

La fuerza de la gravedad en la superficie de Júpiter equivale al duplo de la atracción terrestre; en nuestro globo sabemos que un cuerpo que cae en libertad recorre en el primer segundo 4^m,90; en Júpiter, el espacio recorrido en igual período de tiempo sería de 12 metros; 1 kilogramo en la Tierra, pesa 2 kilos 500 gramos en Júpiter, y un hombre de 65 kilos de peso en la Tierra, pesaría en este mundo gigantesco 162 kilos. Sin embargo, los organismos deben de estar compuestos de una substancia de escasa densidad, siendo por otra parte en extremo densa la atmósfera; de donde resulta, en el terreno de las conjeturas, que las especies vivas de la fauna jovial no deben presentar analogía ninguna con las formas zoológicas de nuestro globo.

El año de Júpiter consta de 10.455 días, de 9^h y 55^m cada uno; este calendario es bien distinto, como vemos, del cristiano que se emplea aquí en la Tierra; en Júpiter no se conocen nuestros días, semanas, meses ni años, y el tiempo se halla dividido de un modo bien diverso. El día en particular es dos veces y media más corto que el nuestro, al paso que el año es casi doce veces más largo; en vez de un satélite que permita dividir el tiempo en períodos de treinta días ó un mes, tiene Júpiter cinco lunas, con cuyo auxilio es posible obtener cinco divisiones distintas, todas muy rápidas, pues la revolución del V satélite sólo dura 12^h escasas y la del I 1^d y 18^h, ó sean cuatro días joviales, en los cuales tienen lugar todas sus fases sucesivas, de modo que corresponde un cuarto lunar á cada día; la revolución del II satélite dura 8 días y medio de Júpiter, que es una segunda clase de mes y de fases. El III recorre su órbita en 17 días joviales, dando lugar á una tercera especie de meses y fases; y por último, el IV efectúa su revolución en 40 días joviales, en cuyo período pasa por todas sus fases, produciendo una quinta unidad mensual.

La Tierra, vista desde Júpiter, se presenta como un punto luminoso que oscila en las inmediaciones del Sol, del cual jamás se aleja á una distancia su-

terior á 12° , es decir, á más de 24 veces el diámetro bajo el cual distinguimos este astro, por manera que tan sólo es posible percibirla por la mañana ó por la tarde, del propio modo que nosotros columbramos á Mercurio desde nuestro planeta, ó probablemente con mayor dificultad todavía, presentándose en el campo del anteojo como una pequeña luna en cuadratura. Si los astrónomos joviales observan el Sol con esmero, habrán podido descubrirnos cuando nuestra Tierra se proyecta como un punto negro sobre la brillante fotoesfera, del propio modo que nosotros podríamos observar el paso de un planeta intramercurial.

Las constelaciones que se distinguen desde Júpiter durante la noche son las mismas que percibimos de la Tierra; en el cielo jovial brillan, como en el nuestro, Orión, la Osa mayor, Pegaso, etc., y las brillantes estrellas Sirio, Wega, Cánope, Proción y sus compañeras; y los 195 millones de leguas que nos separan del mundo de Júpiter, en nada hacen cambiar el aspecto de la bóveda celeste. Pero la velocidad de la rotación produce una diferencia mucho más sensible que en la Tierra, entre el movimiento de las estrellas próximas al ecuador y las que se encuentran inmediatas al polo.

Las primeras y el zodiaco caminan con tal rapidez, que es fácil seguirlas á la simple vista; el polo boreal de Júpiter viene á caer en las inmediaciones de una estrella situada en el corazón del Dragón y el polo Sur, muy cerca también de la nube mayor de Magallanes.

Durante el día, es el aspecto del cielo por completo distinto del nuestro, no sólo porque la atmósfera presenta un color y una composición diferente de la atmósfera terrestre, sino también porque el Sol aparece cinco veces más pequeño en diámetro y veintisiete veces en superficie, y porque camina con mucha mayor velocidad en su curso diurno aparente.

Este movimiento se sigue con facilidad en la sombra que proyecta el estilo de un cuadrante solar; en efecto, el astro del día invierte 2 horas en transportarse del punto de su orto al de su ocaso, es decir, que recorre unos 6° en diez minutos, que es un espacio igual al diámetro de nuestro Sol recorrido en 50 segundos, de modo que este astro cambia de lugar en un valor igual al de su propio diámetro en el espacio de 10 segundos.

Pero el carácter más curioso del cielo de Júpiter es, sin duda alguna, el espectáculo de sus cinco lunas, dotadas todas de un movimiento distinto; la más inmediata camina por el firmamento jovial con una velocidad de 18° por hora; la de nuestra Luna le sería comparable, si se moviese en un espacio igual al de su propio diámetro aparente en menos de tres minutos; de este modo podría desempeñar las funciones de la aguja de un gigantesco reloj celeste. La posición de estas cinco lunas en el plano del ecuador hace que casi todos los días se produzcan eclipses totales de Sol para los habitantes de Júpiter colocados en las regiones ecuatoriales; en el cono de sombra que el inmenso planeta proyecta tras sí en el espacio, cabrían en línea recta 13.780 esferas como la Tierra; las cuatro lunas interiores no pasan nunca por detrás del planeta sin atravesar esta sombra colosal, por manera que se encuentran eclipsadas en cada revolución, precisamente á las horas en que debieran aparecer llenas. La quinta luna es la única que puede observarse en su pleno completo.

Estas circunstancias, unidas á la rápida revolución de los satélites, deben

proporcionar á los habitantes de Júpiter un conjunto de fenómenos celestes en extremo variado, complicando sobre manera su cronología.

Se produce un eclipse total de la quinta luna á cada período de 12 horas terrestres ó 1,6 días joviales, y durante un tiempo considerable, ora antes, ya después de los equinoccios, alterna un eclipse total ó parcial de Sol con los eclipses del quinto satélite con intervalos de 5,8 horas terrestres ó poco más de un día jovial. El mismo hecho ocurre con el I satélite en intervalos de 4 días de Júpiter; para el II en períodos de 8 días y medio, para el III en 17 días y para el IV cada 40 días. Con un pequeño esfuerzo de imaginación podemos figurarnos los interesantes y raros fenómenos que se manifiestan á los habitantes de Júpiter, cuando las diversas magnitudes de estas cinco lunas se agregan á la sucesión rápida de sus fases.

Los movimientos de los cinco satélites están de tal suerte ordenados, que nunca pueden encontrarse á un mismo tiempo á un lado del planeta; cuando falta uno de ellos en el firmamento de Júpiter, ha de brillar precisamente alguno de los otros; las noches, por consecuencia, son siempre de luna, y á menudo se puede contemplar cuatro de estas hermosas lámparas de magnitudes y fases distintas. Sin embargo, estos astros no prestan tanta luz como pudiera creerse á primera vista y como se lee en muchos tratados de astronomía.

Parece natural creer que estas cinco lunas habrían de iluminar sus noches con una claridad cuatro veces superior, relativamente, á la de nuestro único satélite, y que en parte pudieran suplir á la débil luz del Sol en la superficie jovial; pero sus distancias son tales, que las tres que se encuentran más distantes parecen mucho más pequeñas que la Luna terrestre á nuestra vista.

La simetría y perfección del sistema que circula en torno de Júpiter ha hecho pensar á muchos que este globo debe estar habitado por razas superiores y más inteligentes que las que componen la gran familia humana. Pero nosotros hemos de juzgar á Júpiter según las pruebas y analogías que nos suministran las observaciones y el estudio, más bien que siguiendo los sueños fantásticos y las especulaciones de algunos entusiastas; sabemos que el Sol, que supera á Júpiter en peso y volumen, mucho más de lo que Júpiter aventaja á la Tierra, es impropio para la vida, y que, por tanto, el tamaño y la masa no arguyen habitabilidad. Sabemos que nuestros meteoros y cometas cruzan los espacios con mayor rapidez que la inmensa bola de Júpiter; así que la fuerza, por la simple velocidad del movimiento, ya orbital, ora rotatorio, puede también desecharse. No debemos olvidar que en los tiempos en que el hombre aún no había empezado á investigar los movimientos de nuestra Luna, ofrecía este satélite el mismo motivo y objeto de estudio elevado que en nuestros días forma para los Adams, Newcombs y Airys.

La magnitud del mundo de Júpiter, naturalmente, nos sugiere á primera vista la idea de seres mucho más corpulentos que los que viven en el suelo de la Tierra. A este propósito, Wolfius, no sólo afirmaba que en Júpiter había habitantes, sino que también pretendía demostrar que debían ser mucho más grandes que los de la Tierra, perteneciendo, por tanto, á la clase de los gigantes, esto es, hombres de catorce pies ingleses de estatura. Y los argumentos que aduce en prueba de su aserto no pueden ser más originales ni extravagantes.

Dice que la óptica demuestra que la pupila se dilata y se contrae según el grado de luz que recibe, y que como en Júpiter la altura meridiana del Sol es mucho más pequeña que en la Tierra, tiene la pupila que ser mucho más dilatada en las criaturas joviales que en las terrestres; pero se ha observado que la pupila se halla en constante proporción con el globo del ojo, y éste con el resto del cuerpo, así que en los animales, mientras mayor es la pupila, mayor es el ojo, y por consecuencia, mayor también el cuerpo. Suponiendo que no es posible cuestionar sobre este punto, demuestra que la distancia de Júpiter al Sol, comparada con la que hay de la Tierra al mismo astro, se encuentran en la relación de 26 á 5; la intensidad de la luz del Sol en Júpiter es á la intensidad en la Tierra en razón doble de 5 á 26; los ojos de los habitantes de Júpiter y sus dimensiones generales han de agrandarse en la misma proporción, y se deduce por tanto (habla siempre Wolfius) que el mismo Goliath de Gaza hubiera hecho una figura muy triste entre los naturales de Júpiter; esto es, suponiendo que la estatura del guerrero filisteo se hallase comprendida entre ocho y once pies, según manifiestan los cálculos del Obispo de Cumberland, basados en la traducción de los setenta intérpretes. Luego prueba Wolfius que la talla de los habitantes de Júpiter debe ser igual á la de Og, rey de Bashan, cuya cama de campaña, hecha de hierro, medía nueve cúbitos de largo y cuatro de ancho, ó más bien establece por el medio indicado que la altura corriente de los habitantes joviales ha de ser de $13 \frac{819}{1440}$ pies de París y que la altura de Og era de $13 \frac{1296}{1440}$!! (Obras de Wolfius, tomo III, pág. 438.)

La determinación exacta de las dimensiones de los hombres de Júpiter sería muy agradable y satisfactoria, si otra serie de argumentos no nos llevase á unas conclusiones tan absolutas como estas, pero de carácter completamente contrario. Si aceptamos que en Júpiter existen hombres en un todo iguales á los terrícolas, excepto en la talla, podemos solicitar para estos seres la facultad de trasladarse de un lugar á otro, tan libre y espontáneamente como nosotros lo hacemos, con iguales razones que las que Wolfius presentaba para demostrar que debían tener el mismo poder visual que nosotros; procediendo en conformidad con esta idea, llegamos á la conclusión de que los jovícolas han de ser pigmeos de unos 60 á 70 centímetros de altura, por término medio; pues sabemos que un terrícola transferido á Júpiter pesaría como dos veces y media más que en nuestro globo propio, por manera que se encontraría oprimido por una carga equivalente á su propio peso y una mitad más, lo cual haría la vida en Júpiter verdaderamente insoportable. Veamos qué diferencia de tamaño sería preciso que tuviesen los jovícolas para ser tan activos y diligentes como los habitantes de la Tierra. El peso de los cuerpos proporcionalmente semejantes varía en razón del cubo ó tercera potencia de su altura; por ejemplo, un cuerpo de doble altura que otro, y en todo lo demás semejante, pesará ocho veces más. Pero el poder muscular de los animales varía con la sección perpendicular de sus músculos, ó en términos generales, como los cuadrados de sus dimensiones lineales; así, pues, de dos animales de análoga constitución, pero de los cuales tenga uno doble estatura que el otro, el mayor será cuatro veces más fuerte, pesará asimismo ocho veces más que el otro, y será, en consecuencia, menos activo en una mitad.

Del propio modo un animal tres veces más alto que otro y de igual ó aná-

loga naturaleza, vendrá á tener la tercera parte de su actividad y en igual relación todas sus demás propiedades.

Ahora bien, como un terrícola transportado á Júpiter sería dos veces y media más pesado que en la Tierra, se desprende claramente que un hombre de Júpiter, proporcionado como los terrícolas, según el globo en que habita, sería tan activo como un hombre terrestre, si la estatura de éstos fuese respecto de los jovícolas como uno es á dos y medio. Luego calculando que sea de seis pies la estatura máxima común de los hombres terrenales, hallamos que los más altos jovícolas medirían dos pies y medio, si nuestras premisas son exactas; de modo que los diminutos esquimales terrestres serían verdaderos gigantes transportados al mundo de Júpiter y puestos al lado de sus habitantes.

Por manera que una serie de argumentos nos ha hecho considerar á los habitantes joviales tan altos como Og, rey de Bashan, y otra serie, tan plausible como la anterior, nos obliga á reducir sus dimensiones á la de nuestros niños de dos años de edad; de lo cual debemos deducir que este método de raciocinar es falso y que es preciso estar siempre en guardia en cuanto se refiere á la habitabilidad de los cuerpos celestes, y sobre todo, cuando oigamos hablar de la constitución física y de las cualidades morales de los seres extra-terrestres. No nos es posible medir á los habitantes de otros mundos, según las ideas que nos hemos formado por la configuración que presentan los seres que viven en la superficie de la Tierra; tenemos que admitir la posibilidad de que la vida se manifieste en los demás planetas que circulan en torno del Sol de un modo muy distinto, y que las diferencias sean quizás más considerables que las que existen entre el hombre y el insecto; pero en todas nuestras especulaciones debemos de tener presente que carecemos de bases sólidas para fundar nuestra opinión, y que la sana filosofía nos impide aceptar los en sueños fantásticos de los que consideran que los habitantes de Júpiter han de ser *apasionadísimos al baile* ó que han de estar adornados de *alas como los murciélagos*; ni hemos de seguir la aventurada opinión de Humphry Davy, quien dice que los jovícolas han de estar compuestos de una reunión de tubos, como los que forman la trompa del elefante; ó la de Whewell, que asegura que han de ser como los pulpos, de composición gelatinosa, y han de vivir en un mundo formado de hielo y agua, con un núcleo de ceniza; ó la no menos disparatada del sabio y profundo Brewster, que afirma, y afirmar es, que los habitantes joviales han de haber construído sus habitaciones en ciudades subterráneas, calentadas por un sistema de fuegos centrales, ó han de vivir en bodegas ó sótanos de cristal, enfriados por las mareas del Océano, ó que flotan como las nereidas sobre el abismo, ó van montados en alas y vuelan y permanecen inmóviles en el aire á su voluntad.

Tan pronto como damos una forma definida á las concepciones que engendra el pensamiento, libre del contrapeso regulador del conocimiento exacto y verdadero, caemos en seguida en lo grotesco, lo repugnante y lo ridículo. Basta con reconocer la probabilidad, ó más bien la certidumbre, de que los seres de otros mundos son muy distintos de todos los que conocemos, sin que tratemos de darles forma alguna determinada, pues carecemos de base para ello. Y á este propósito podríamos multiplicar los ejemplos, casi sin limitación; pero nos bastará con los siguientes, por lo conocidos.

Sabemos que toda forma de vida, que todo ser, demuestra plenamente sus cualidades de adaptación, según las condiciones que lo rodean y el medio en que vive; y sin embargo, en cuanto el hombre, que es quien comprende perfectamente estas cualidades de adaptación, intenta pasar de los límites de lo conocido, cae en el absurdo de pintar y describir seres constituídos de tal modo que no podrían vivir en el medio y en las condiciones en que los coloca. Hasta las partes desconocidas de nuestra misma Tierra se han poblado antes de ahora, en la imaginación, por supuesto, de hombres cuya cabeza crecía debajo de los hombros y de otros seres tan monstruosos como éstos. Es más pasadero, quizás, que se haya dado á los ángeles una estructura anatómicamente imposible, y más absurda aún á los querubines, mientras que Satanás, cuyo *rugido es comparable al del león*, se describe con todos los atributos esenciales de los rumiantes.

Podemos considerar, empero, como probable que los seres de Júpiter, dado caso que existan, deben ser, por lo general, de constitución y talla menor que la de las especies animadas de la Tierra; los árboles, las plantas, el mundo vegetal, en una palabra, debe ser también muy distinto del que contemplamos en nuestro globo; es bien sabido que el movimiento de los jugos vegetales se regula, en parte, por la fuerza de la gravedad, y por lo tanto hay que admitir que la estructura de las plantas terrestres se halla sometida, hasta cierto punto, á la fuerza ó valor de la gravedad en la superficie del globo terrestre. Whewell, en su obra sobre los testimonios astronómicos de los fines de la Creación, da una gran importancia á este asunto, haciendo notar que todos los vegetales se destruirían en seguida si de repente se verificase algún cambio sensible en la intensidad de la fuerza atractiva del globo. Si esta opinión es acertada, podemos afirmar que á ninguna de nuestras plantas les es dable vivir en el suelo jovial.

CAPITULO IX

SATURNO

Conocimientos de los antiguos sobre Saturno: movimientos aparentes de este planeta. - Rotación, forma y achatamiento de Saturno. - Descubrimiento de los anillos de Saturno. - Examen telescópico del anillo de Saturno. - Constitución de los anillos de Saturno. - Satélites de Saturno. - El mundo de Saturno.

Ni en la tradición, ni en la historia, hallamos nada que nos indique la fecha del descubrimiento de Saturno, y aunque lo encontramos incluído en la lista de las estrellas errantes ó planetas que nos han legado los antiguos, casi podríamos afirmar que Venus, Júpiter y Marte se descubrieron mucho antes que Saturno, que era el planeta más lejano del Sol que conocieran los primitivos pueblos. Los dos primeros astros, esto es, Venus y Júpiter, exceden en brillo y esplendor á las estrellas fijas más luminosas, y debieron, por tanto, en una época bien remota, atraer las miradas de los astrónomos, quienes no dejarían de percibir, y bien pronto, que estos mundos cambiaban de posición en la esfera celeste; del propio modo, Marte con su roja y brillante luz y rápido movimiento entre las estrellas, hubo de conocerse como uno de los planetas en tiempos remotísimos. De otro lado, Mercurio, centelleando como una estrella fija y visible únicamente en las inmediaciones del horizonte cuando lo envuelve la luz deslumbradora del lumínar del día, hubo de escapar durante largo tiempo á la investigación minuciosa de los astrónomos, que tal vez lo consideraran como estrella fija mucho tiempo después del descubrimiento del pálido y majestuoso Saturno; es lo cierto que, aun cuando Mercurio puede muy bien ser el último planeta que descubrieran los astrónomos de los tiempos fabulosos, se encuentra ya incluído en el culto de las estrellas que practicaban los aseditas bajo la dominación de los lacmitas.

¿De qué medios se valdrían los astrónomos de la antigüedad para poder descubrir la naturaleza planetaria de Saturno y conocer varios particulares relativos al mismo, como nos revelan diversos testimonios? A esta pregunta sólo se puede contestar que el tiempo y la paciencia fueron las dos palancas de que se valieron los pueblos asiáticos para fundar la maravillosa ciencia astronómica, que á tanta altura encontramos en los anales de aquella remota civilización.

Esta clase de investigaciones tiene con la ciencia moderna más puntos de contacto y enlace de los que á primera vista pudiera creerse.

En los breves párrafos que hemos dedicado á la descripción de los medios de que se valían los astrónomos para descubrir los pequeños planetas antes de aplicar la fotografía, puede decirse que se encuentra expuesto el método seguido por los astrónomos caldeos y asirios para averiguar la posición y movimien-

tos de los cuerpos celestes visibles á la simple vista; esto es, que trazarían sus cartas y planisferios, marcando en ellos las posiciones de todos los cuerpos y mundos del firmamento, y con el auxilio de sus tablas y efemérides calcularían las posiciones que debieran ocupar los astros, y por sus discrepancias vendrían en conocimiento de su naturaleza planetaria.

Cierto es que los poderosos y delicados instrumentos de la actualidad y la aplicación de los métodos modernos del análisis matemática permiten al astrónomo obtener en unas semanas lo que en otro tiempo hubiera consumido la vida de un hombre, y con resultado bien incompleto.

Los egipcios dieron á Saturno el nombre de *aparente*, en cuyo vocablo han pretendido ver algunos una alusión á la propiedad que tiene de separarse de los rayos solares, en la época de sus conjunciones, con más rapidez que Marte y Júpiter.

Los griegos daban á Saturno el nombre de Nemesis, al cual agregaban con frecuencia el epíteto de *resplandeciente*, no faltando autores que lo designan como un Sol.

Se representa á Saturno por el signo ♄ en el cual se quiere ver la forma imperfecta de una hoz ó guadaña.

Lo que tenemos que decir del movimiento aparente de Saturno será casi una repetición textual de las observaciones que hicimos respecto del movimiento de Júpiter, si bien en las cifras hay grandes variaciones.

Así, pues, Saturno está en conjunción cuando parece que ocupa en el cielo la misma región que el Sol y pasa por el meridiano casi al mismo tiempo que el astro del día; en oposición, cuando el paso meridiano se verifica á media noche; y en cuadratura, cuando este fenómeno ocurre á las seis de la tarde ó de la mañana, que es cuando dista del Sol proximamente 90°.

Cuando Saturno se aparta de su conjunción, sale un poco antes que el Sol, y su movimiento, en relación con las estrellas, alcanza su máximo dirigiéndose de Occidente á Oriente, ó sea en sentido directo. La distancia entre ambos astros va aumentando, no obstante, porque el movimiento aparente del Sol es más considerable que el del planeta. Luego se ve que el movimiento decrece, y para por completo durante algún tiempo; entonces está el planeta *estacionario*, y comparándolo á la simple vista con las estrellas, podría fácilmente confundirse con uno de estos astros propiamente dichos.

A la estación sigue un movimiento retrógrado, ó que se dirige de Oriente á Occidente, cuyo máximo tiene lugar el día de la oposición. Este movimiento disminuye en seguida, hasta que Saturno se encuentra de nuevo estacionario; después de la segunda estación, toma el planeta nuevamente su movimiento directo respecto de las estrellas, hasta que llega la conjunción siguiente, y así continúa en los años sucesivos, presentando siempre la misma serie de fenómenos.

El planeta llega á estar estacionario cuando hacia el Oriente ó el Occidente es su distancia al punto de oposición de 109°; el arco de retrogradación es próximamente de 6° y el tiempo que emplea el planeta en recorrerlo es de 139 días, poco más ó menos.

Saturno brilla á la simple vista como una estrella de primera magnitud, pero menos resplandeciente que Júpiter; su luz es fija y tranquila, esto es, no centellea.

El tiempo que invierte Saturno en recorrer todos los puntos de su órbita ó en dar una vuelta completa al cielo, ó lo que es lo mismo, en su revolución sidérea, es de 10.759,2 días, que equivalen á 29 años, 5 meses y 16 días. El período que transcurre entre dos conjunciones sucesivas y la duración de su revolución sinódica es de 1 año y 13 días, y su movimiento directo dura 239 días y el retrógrado 139 días.

El movimiento de Saturno se efectúa en una órbita que forma con el plano de la eclíptica un ángulo de $2^{\circ} 29' 40''$.

La inmensa órbita de Saturno ofrece un desarrollo de 2.215 millones de leguas, de modo que este planeta se mueve con una velocidad media de traslación de 9 kilómetros y medio por segundo, ó sea tres veces más despacio que la Tierra; de otro lado, esta velocidad es variable, porque, como la órbita no es circular, sino elíptica, son variables, en consecuencia, las distancias de Saturno al Sol, y como ya hemos visto, el movimiento de un planeta es tanto más rápido, cuanto menor es su distancia al astro central del sistema.

La órbita de Saturno es mucho más excéntrica que la de nuestro globo, unas tres veces más, pues se representa por el número 0,056, y la distancia media del planeta al Sol viene á ser próximamente como nueve veces y media la que se para á la Tierra del mismo luminar.

| | $\delta = 1$ | Leguas |
|--------------------------------|--------------|-------------|
| Distancia perihelia de Saturno | = 9.0046 | 332.500.000 |
| » media » | = 9.5388 | 352.750.000 |
| » afelia » | = 10.0730 | 372.500.000 |

Como vemos, hay una diferencia de 40 millones de leguas entre las distancias del planeta al Sol, cuando ocupa, en el intervalo de unos 15 años, dos posiciones opuestas, en las extremidades del eje mayor de su órbita, diferencia que es superior en 3 millones de leguas á la distancia que hay del Sol á la Tierra. El disco solar, visto desde Saturno, subtiende un diámetro de $3' 20''$ y su superficie se reduce á la 90.^a parte de la que ofrece á los ojos de los habitantes de la Tierra; si se representa por la unidad la suma total de luz y de calor que recibe la Tierra en su superficie, equivalen los mismos elementos en Saturno á 0,011; en esta proporción, pues, se encuentran debilitadas las radiaciones luminosas y caloríficas del astro central del sistema, cuando llegan á la superficie de este lejano planeta.

Saturno no presenta fases sensibles, lo cual se explica, sin tener que acudir á la suposición de que posea luz propia, considerando la enorme distancia á que se encuentra del Sol; ciertos fenómenos, de que hablaremos en los párrafos siguientes, demuestran, con toda evidencia, que este planeta tan sólo es visible por la luz que le presta el astro del día.

Como acabamos de decir, las distancias de Saturno al Sol varían constantemente, y, por lo tanto, unas veces se encuentra más cerca de la Tierra y otras más lejos, según las posiciones que ambos planetas ocupan en sus órbitas respectivas; en la época de la oposición alcanzan su valor mínimo, pues entonces nuestro globo se halla entre Saturno y el Sol; llegan, por el contrario, á su valor máximo en el momento de la conjunción; la excentricidad de las órbitas y la

inclinación de sus planos hacen que estas distancias sean en extremo variables. Limitémonos, pues, á decir que la diferencia es de unos 100 millones de leguas nada menos.

De estas variaciones de distancia resultan cambios inversos en el brillo de Saturno examinado á la simple vista; pero cuando se le observa con anteojos poderosos, que permiten distinguir con claridad el contorno de su disco, se perciben unas variaciones correspondientes en las dimensiones aparentes de su diámetro, que según las medidas de Struve, á la distancia media del planeta al Sol, es de 164", oscilando entre 15" y 20" (fig. 185). De aquí se deduce que el diámetro real de Saturno es de 9.299, tomando como unidad el diámetro terrestre; el radio de Saturno vale 15.250 leguas, lo que da para su circunferencia ecuatorial 99.500 leguas; su volumen es 718 veces más considerable que el de nuestro globo (fig. 186) y su superficie equivale á 80 veces la de la Tierra ó sea la 1.850.^a parte del volumen del Sol ó los $\frac{3}{8}$ del volumen de Júpiter.

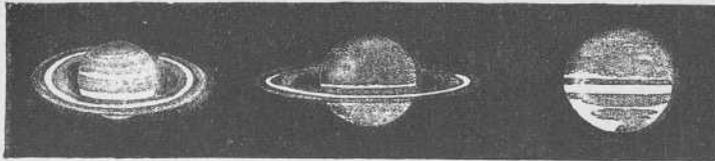


Fig. 185. — Dimensiones aparentes de Saturno, visto desde la Tierra á sus distancias media y extremas

La masa de Saturno respecto de la del Sol es como $\frac{1}{3880}$; su densidad es de 0,128, tomando como unidad la de la Tierra, y la fuerza de la gravedad en su superficie igual á 0,89.

Saturno está dotado de un movimiento de rotación sobre sí mismo, en cuya virtud da una vuelta completa en $10^h 14^m$; el eje sobre el cual se efectúa el movimiento de rotación es más corto que el eje perpendicular ó eje del ecuador en 1 décimo.

Cassini vió en 1683 en el globo de Saturno unos fenómenos luminosos que le hicieron sospechar que el planeta giraba sobre su eje, pero no asignó período alguno á la rotación. En la obra de Huyghens titulada *Cosmotheoros*, y en la cual se describen los principales fenómenos del firmamento, tales y como deben de observarse en diversos planetas, el gran geómetra dice positivamente que los habitantes de Saturno tienen días y noches, lo que implica la existencia de un movimiento de rotación del planeta sobre su centro. Huyghens, que en sus investigaciones astronómicas presta tanta atención á Saturno, hubo de reconocer por sus propias observaciones el movimiento rotatorio del planeta para expresarse de esta suerte; debemos de advertir que el *Cosmotheoros* se publicó siete años después de la muerte de su autor.

A Herschel I estaba reservado el determinar el tiempo que invierte Saturno en dar una vuelta sobre su eje; la asidua observación de ciertas irregularidades que ofrecen las bandas de Saturno, y de las que hablaremos dentro de poco, y una discusión profunda de todos los resultados, demostraron al ilustre astróno-

mo de Slough, en 1794, que este planeta emplea $10^h 16^m$ en hacer una revolución sobre sí mismo.

Después de esta determinación, parece que no se trató de comprobarla en muchos años, hasta que en 1876 se presentó en el globo de Saturno un fenómeno en extremo curioso y notable: el famoso Hall, descubridor de los satélites de Marte, se ocupaba de hacer ciertos estudios sobre las lunas saturnales en la noche del 7 de diciembre de 1876, cuando vió una brillante mancha blanca cerca del ecuador del planeta; parecía una inmensa erupción de materia caliente blanca que hubiera salido repentinamente del interior; la mancha se extendió por grados hacia la región oriental del planeta, tomando la forma de una estela

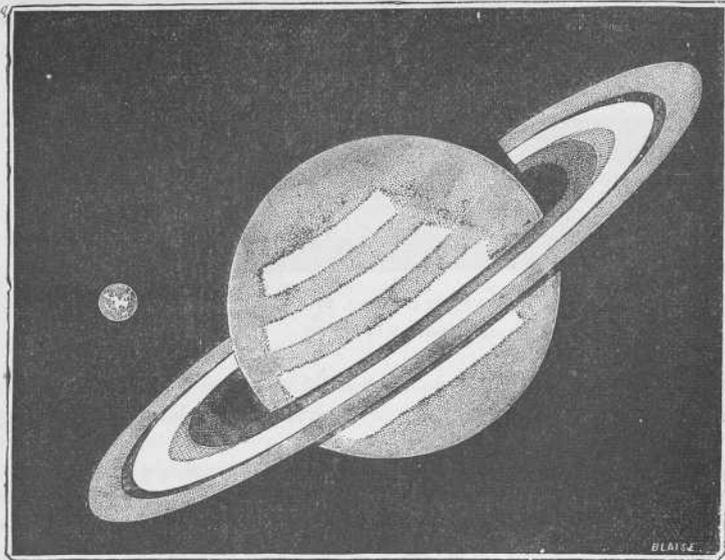


Fig. 186. — Dimensiones comparadas de Saturno y la Tierra

ó rastro luminoso, cuya porción más brillante se encontraba hacia la parte occidental; continuó siendo visible hasta el mes de enero, en que se debilitó, perdiendo sus contornos al sumergirse el planeta en los rayos del Sol.

Inmediatamente después del descubrimiento de este notable fenómeno, se enviaron telegramas á los demás Observatorios de América y Europa, y el día 10 del mismo mes se percibió por otros astrónomos, los cuales anotaron el momento en que la mancha cruzó el centro del disco, y por consecuencia, el tiempo de la rotación del planeta. De todas estas observaciones dedujo el profesor Hall el período de $10^h 14^m$ como duración del movimiento rotatorio de Saturno, fijándose en la parte más brillante del rastro luminoso, que, como decimos, se encontraba en un extremo: si hubiera tomado el centro de la estela, el período sería más corto, porque la materia brillante parecía arrastrada en la misma dirección en que se verifica el movimiento de rotación del planeta; si atribuímos este fe-

nómeno á la acción del viento, hemos de suponerle una velocidad de 20 á 40 leguas por hora.

Nadie, antes de Herschel, había sospechado siquiera que Saturno presenta-se achatamiento alguno sensible. Las mediciones del grande astrónomo que pu-sieron este hecho fuera de duda, llevan la fecha del mes de septiembre de 1789. El diámetro ecuatorial era entonces de $22''{,}8$ y el diámetro de los polos de $20''{,}6$; debemos agregar que las observaciones parciales que dieron estos resultados me-dios presentaban entre sí mayor discrepancia de la que era menester.

Herschel hizo en 1805 una observación verdaderamente extraña y distinta de la de todos sus predecesores sobre la constitución física de Saturno.

Júpiter y Marte son achatados; el eje á cuyo alrededor giran estos planetas es más corto que ninguno de los demás diámetros del disco aparente; siendo, por el contrario, mayor el diámetro ecuatorial; los diámetros intermedios tienen unas longitudes proporcionadas que crecen desde los polos hasta el ecuador; la manera con que estas variaciones de lon-gitud se encadenan, nos autoriza á con-siderar los discos aparentes como elipses, asimilando estos dos planetas á un eli-psoide ó esferoide de revolución, engen-drado por el movimiento de una elipse en torno de su eje menor. Según Hers-chel, esta regularidad, esta sencillez de forma, no existe en el globo de Saturno;

el disco aparente, en vez de ser elíptico, se asemeja más bien á un rectángulo cuyos cuatro ángulos se hubiesen redon-deado en proporción considerable y cuya mayor longitud fuese la del plano de su ecuador. El eje polar es el diámetro más corto, y á su alrededor ejecuta el planeta una revolución en 10^h y cuarto; el diámetro ecuatorial es más grande que el de los polos; pero aquí es donde principian las anomalías, pues el eje ecuatorial de Saturno no es el mayor de todos; el eje máximo forma con el pla-no del ecuador un ángulo que Herschel halló unas veces de $46^{\circ} 38'$ y otras de $45^{\circ} 31'$, y por último, según una medida posterior más exacta, de $43^{\circ} 20'$. En los extremos del eje máximo es pronun-ciadísima la curvatura del disco; cerca de los polos y del ecuador parece más bien que se distinguen líneas rectas en una gran extensión.

Hoy día se admite que la forma del globo de Saturno es sensiblemente elíp-tica, esto es, achatada en las extremidades de un mismo diámetro, que corres-ponden precisamente á los polos de rotación; para convencerse de esta verdad basta recorrer las series de dibujos y observaciones del famoso astrónomo ame-ricano Bond, de las cuales entresacamos, por lo característica, la figura 187. El globo aparece más bien poligonal que esférico, y las notas del observador, con-signadas en el texto de su Memoria, demuestran que estas irregularidades de for-ma no provienen de defectos en los dibujos, los que á veces indican que las regio-nes polares de Saturno se asemejan á la forma puntiaguda de un pilón de azúcar.

Estas observaciones de Bond no se han confirmado, como puede verse en

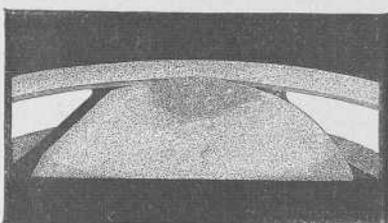


Fig. 187. - Forma poligonal del globo de Saturno, según los dibujos y observaciones de Bond.

la figura 188, que es una reproducción de una fototipia sin retoque, obtenida con una exposición de cinco minutos, en el Observatorio de París, en 1886.

A principios de julio de 1610 examinó Galileo en Padua, por vez primera y valiéndose de su antejo, el planeta Saturno; el instrumento que empleó en estas y otras observaciones importantes, que han hecho su nombre imperecedero, era en extremo imperfecto; en la actualidad se encuentra conservado con religioso respeto en Florencia; su poder amplificador es tan sólo de treinta y dos diámetros, y si hemos de atenernos á lo que nos cuenta Brewster, que lo examinó hace pocos años, el objetivo se encuentra reducido á la tercera parte de su superficie por un diafragma de cartón que deja libre un campo de visión limitadísimo, casi un simple agujero. Hoy día se puede obtener un antejo mucho más manuable y poderoso en casa de cualquier óptico por unas cuantas pesetas.

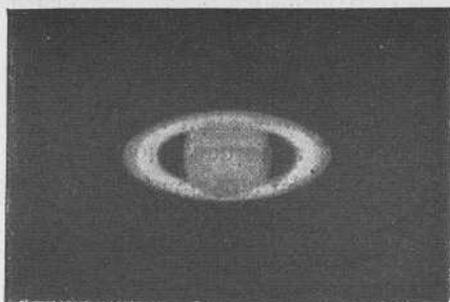


Fig. 188. — Fotografía directa de Saturno. Tiempo de exposición: 5 minutos. (Reproducciones por heliograbado, sin retocar.)

(Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia.)

En julio de 1610 se aproximaba Saturno á su oposición, encontrándose en circunstancias muy favorables para ser observado; pero los primeros resultados que obtuvo el ilustre astrónomo florentino lo pusieron en gran confusión, pues el planeta se le presentaba triforme. En una carta dirigida á Juliano de Médicis, embajador en Austria, el 13 de noviembre de 1610, explica claramente la significación de este término. «Cuando observo á Saturno, dice, con un antejo que amplifica más de treinta veces, la estrella central parece mayor, y las otras dos, situadas á Oriente y Occidente en una línea que no coincide con la dirección del zodiaco, parecen tocar á la principal; son como dos servidores que ayudan al viejo Saturno en su camino, permaneciendo siempre á su lado. Con un antejo de menor amplificación aparece la estrella alargada y de la forma de una aceituna.»

En el mismo mes de noviembre de 1610 dió Galileo parte de su descubrimiento al mundo científico en una carta dirigida á Keplero, en la que se contenía el siguiente anagrama:

smaismilmepoetalevmibvnnvgttaviras

cuyas letras puestas en orden conveniente dicen:

altissimum planetam tergeminum observavi

(he observado que el planeta más distante es triforme).

Al cabo de año y medio volvió á observar Galileo, y con extraordinario asombro vió que habían desaparecido las estrellas laterales y que en el campo de su antejo sólo se distinguía el disco del planeta, tan redondo y circular como

los de Marte y Júpiter; parece que esta circunstancia lo desanimó en extremo, y que cuando, después de limpiar escrupulosamente los cristales de su anteojo, lo enfocó sobre el planeta con el mayor esmero, sin llegar á distinguir las estrellas acompañantes ó el aspecto triforme del planeta, exclamó en un momento de debilidad, dando crédito á las acusaciones de sus enemigos: «Es posible que algún demonio quiera burlarse de mí, castigándome por mi curiosidad indiscreta.» Sea de esto lo que quiera, puede asegurarse que desde esta época no volvió Galileo á ocuparse de Saturno.

Hevelio, con instrumentos más poderosos, pero en un clima mucho menos favorable para observaciones astronómicas, se dedicó con gran atención al estudio del planeta Saturno, pero sin conseguir explicar sus misteriosos cambios de forma. En el año 1656 publicó su tratado *De nativa Saturni facie*, en el cual da cuenta del resultado de sus observaciones, ocultando su propia ignorancia bajo ciertas palabras retumbantes, que nada expresan en substancia; según Hevelio, Saturno presenta seis fases al observador, v. g.:

| | |
|------------------|-----------------------------------|
| Primera. | <i>manosphericus</i> |
| Segunda. | <i>trisphericus</i> |
| Tercera. | <i>spherico-ansatus</i> |
| Cuarta. | <i>elíptico-ansatus-diminutus</i> |
| Quinta. | <i>elíptico-ansatus-plenus</i> |
| Sexta | <i>spherico-cuspidatus</i> |

En 1659 publicó Huyghens los resultados de las numerosas observaciones que había hecho durante varios años con un telescopio de siete metros, construído por él mismo; la desaparición de las asas, que había sido para Galileo motivo de confusión, fué para Huyghens la piedra de toque de su teoría, demostrándole que había encontrado la verdad. La explicación de Huyghens, á pesar de su evidencia, no fué aceptada por todos los astrónomos. Riccioli, entre otros, creía que Saturno estaba rodeado por una armella, pero la suponía adherente al planeta en dos puntos.

Examinando Huyghens á Saturno en los meses de marzo y abril de 1655, vió que en vez de presentar los apéndices el aspecto de unas asas curvas, como en los años anteriores, sólo se distinguía un brazo largo y estrecho, que salía por ambos lados del planeta; en la primavera siguiente había desaparecido este bra-

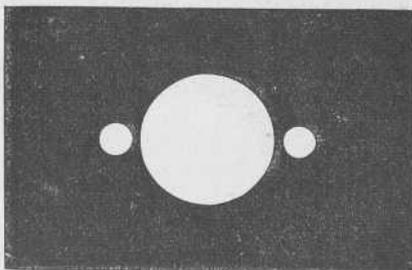


Fig. 189. - Saturno triforme: observación de Galileo en 1610

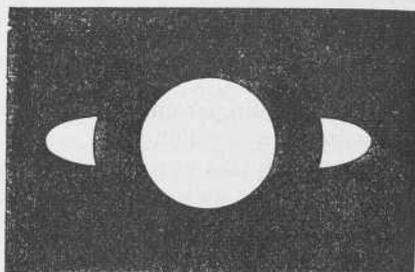


Fig. 190. - Dibujo de Saturno por Gassendi: observación del 11 de enero de 1641

zo y el planeta se presentaba circular y tal como Galileo lo había visto en 1612; en octubre de 1655 se mostraron de nuevo las asas del propio modo que año y medio antes. La manera de desaparecer las asas bastó para que este hábil y profundo matemático adivinase la verdadera causa que producía las variaciones de forma de Saturno; mientras aguardaba una ocasión propicia que confirmase sus observaciones anteriores, comunicó á los astrónomos su teoría, valiéndose

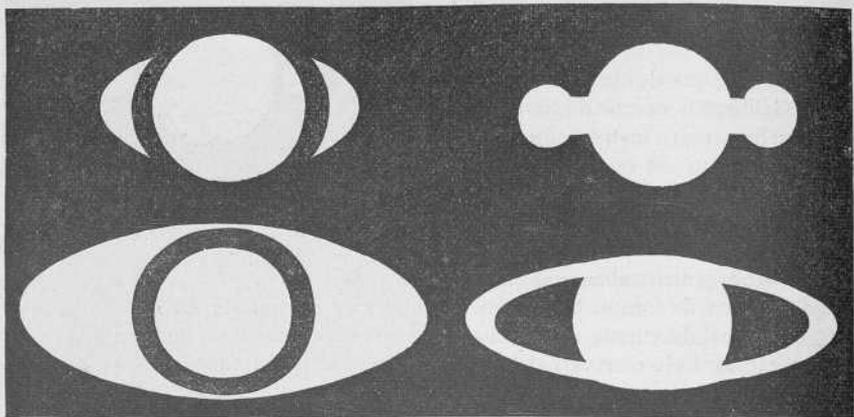


Fig. 191. — Antiguos dibujos de Saturno, hechos por Hevelio, Scheiner y Riccioli

del siguiente logogrifo que, sin explicación de ningún género, publicó al final de un folleto sobre el descubrimiento del satélite de Saturno:

| | | | | | | |
|--------|------|----------|------|----|---|--------|
| aaaaaa | cccc | d | eeee | g | h | iiiiii |
| llll | mm | nnnnnnnn | oooo | pp | q | |
| rr | s | tttt | uuuu | | | |

cuyas letras, colocadas de un modo conveniente, dicen:

Annulo cingitur, tenui, plano, nunquam coherente, ad eclipticam inclinato.

(Está rodeado por un anillo plano y delgado, que no le toca en parte alguna, inclinado sobre la eclíptica.)

Esta descripción es por todo extremo completa y exacta, y permitió á Huyghens explicar de un modo satisfactorio las diversas fases que presenta el anillo para un observador colocado en la Tierra.

En la figura 191 reproducimos algunos dibujos, hechos por los primeros astrónomos que se ocuparon del estudio del planeta Saturno. El primer grabado de la izquierda es una copia de Hevelio, en el que se demuestra el cambio que sufre el aspecto del anillo, según el ángulo bajo el cual se mira. El grabado siguiente se debe á Scheiner, quien lo ejecutó en 1614; en él se distinguen las orejas de Saturno, como decía el famoso jesuíta de Ingolstadt; la segunda figura de la izquierda es también de Hevelio, y la última de Riccioli, que la dibujó de 1648 á 1650, cuando el anillo se presentaba en su ángulo máximo.

Siguiendo nuestra relación histórica sobre el descubrimiento de los anillos de Saturno, diremos que, según la opinión de Gallet, conocido en el siglo XVII por algunos trabajos astronómicos de bastante mérito, los fenómenos de Saturno no tenían nada de reales y se debían á ciertos efectos de la reflexión de la luz en las superficies convexas; es en verdad cosa que causa asombro que un hombre de alguna talla científica pueda lanzar al público juicios semejantes.

En su *Systema Saturnium* dió Huyghens como inclinación del plano del anillo sobre el plano de la elíptica $23^{\circ} 30'$; poco después, en 1668, observó en

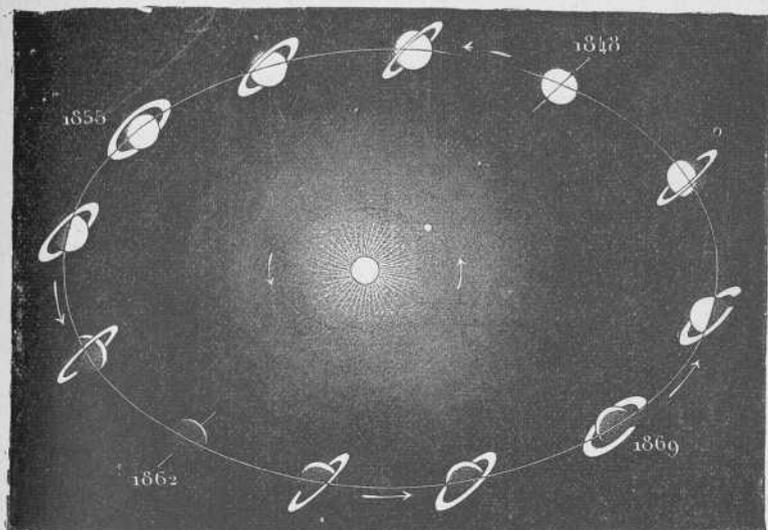


Fig. 192. - Fases del anillo de Saturno

unión de Picard, y halló un nuevo valor, mucho más exacto en su juicio, por el cual debiera aumentarse este número hasta 31° .

Huyghens, como decimos, sostuvo, y probó en efecto, que la forma rara y singular que presentaba Saturno en el curso de los tiempos, podía explicarse con facilidad extraordinaria admitiendo que su globo estuviera rodeado á cierta distancia por un anillo opaco muy delgado, de forma circular, que no tocase por ningún lado al planeta, y que lo acompañase en su movimiento de traslación alrededor del Sol, permaneciendo siempre paralelo á sí mismo, de modo que cortara la eclíptica bajo un ángulo de unos 30° próximamente. Según las posiciones relativas de Saturno y la Tierra en sus órbitas, se nos presenta siempre el apéndice anular por una de sus caras iluminadas por el Sol, pero con diversas inclinaciones, que obtienen sus valores máximos en el transcurso de una revolución de Saturno. La fig. 192 representa la órbita de Saturno y la de la Tierra, vistas en perspectiva sobre un mismo plano, haciendo abstracción de su inclinación mutua, que es tan sólo de $2^{\circ} 29'$; el plano del anillo permanece siempre paralelo á sí mismo, y otro tanto ocurre con su proyección sobre el plano de la órbita, de

donde resulta con toda evidencia que en dos posiciones diametralmente opuestas del planeta sobre su órbita, el plano del anillo prolongado tiene que pasar precisamente por el centro del Sol; en ambas épocas deja éste de iluminar sus dos caras planas, y los rayos solares sólo hieren el canto, que es muy delgado: desde la Tierra, pues, no será posible distinguir el apéndice anular, y Saturno aparecerá redondo, que fué lo que ocurrió en el mes de noviembre de 1612, cuando Galileo vió desaparecer por completo las dos estrellas que acompañaban al planeta. En esta situación, únicamente con los poderosos instrumentos con que cuentan hoy día los astrónomos es posible distinguir en el globo luminoso una ligera línea oscura, producida por la región no iluminada, que se proyecta muy oblicuamente sobre el planeta.

Fuera parte de estas dos posiciones particulares del plano del anillo, claro es que una de sus caras se encuentra siempre iluminada por el Sol, y la opuesta en la sombra; pero como la órbita de Saturno es externa á la órbita de la Tierra, cuyo radio, por otra parte, es comparativamente muy pequeño, siempre nos presenta Saturno su parte iluminada; tan sólo durante la mitad de su revolución vemos la cara boreal del anillo proyectada sobre el hemisferio austral del planeta, y durante la otra mitad de la revolución distinguimos, por el contrario, la cara austral, que entonces se proyecta en sentido inverso, esto es, sobre el hemisferio boreal. Por último, según la distancia de Saturno á las dos posiciones primeras en que desaparece el anillo, se presenta el sistema más ó menos abierto, llegando la abertura, en dos puntos opuestos de la órbita, á un máximo tan considerable, que el anillo sale del globo de Saturno por una y otra parte, y unas veces oculta el polo Norte y las demás el polo opuesto.

Resulta de esta explicación sumaria que cada quince años debe aparecer Saturno sin anillo, y que en un período igual de tiempo se ha de presentar el apéndice anular en su máximo esplendor, si bien la desaparición periódica que resulta del paso del anillo por el Sol no es la única que debe llamar nuestra atención, puesto que, debido á otra causa, puede también desaparecer el anillo de nuestra vista.

Examinando la fig. 193 se comprende que durante todo el tiempo que emplea Saturno en recorrer los dos arcos opuestos *a b* y *c d* de su órbita, tiempo que puede llegar á 360 días, la Tierra y el planeta llegan á ocupar dos posiciones tales, que la primera se encuentra también precisamente en el plano del anillo; esta circunstancia, que, como vemos, ha de ocurrir en las proximidades de la época de la desaparición que determina la primera causa, puede presentarse hasta tres veces en cada período, y en todo caso, una á lo menos.

Es un problema interesante el determinar y predecir los fenómenos periódicos de la desaparición del anillo de Saturno; Huyghens fué el primero que trató de este asunto en su *Systema Saturnium*. Sejour y Lalande hicieron luego del mismo un estudio geométrico y analítico detallado, y por último, Bessel aplicó al problema todos los recursos de que dispone la ciencia moderna.

Hemos podido ver en las páginas anteriores que el único cuerpo celeste que aparece rodeado por un apéndice anular es el planeta Saturno; que el anillo forma con el plano de su órbita un ángulo de unos 28° próximamente, y que, por consecuencia, no es posible en ninguna circunstancia verlo de frente por com-

pleto, debiendo aparecer siempre elíptico y de dimensión transversal variable; el diámetro menor aparente nunca llega á ser superior á la mitad del eje mayor de la elipse.

Visto desde la Tierra, debe proyectarse sobre el globo del planeta una parte del anillo, y en la región opuesta ha de ser Saturno el que se proyecte sobre el

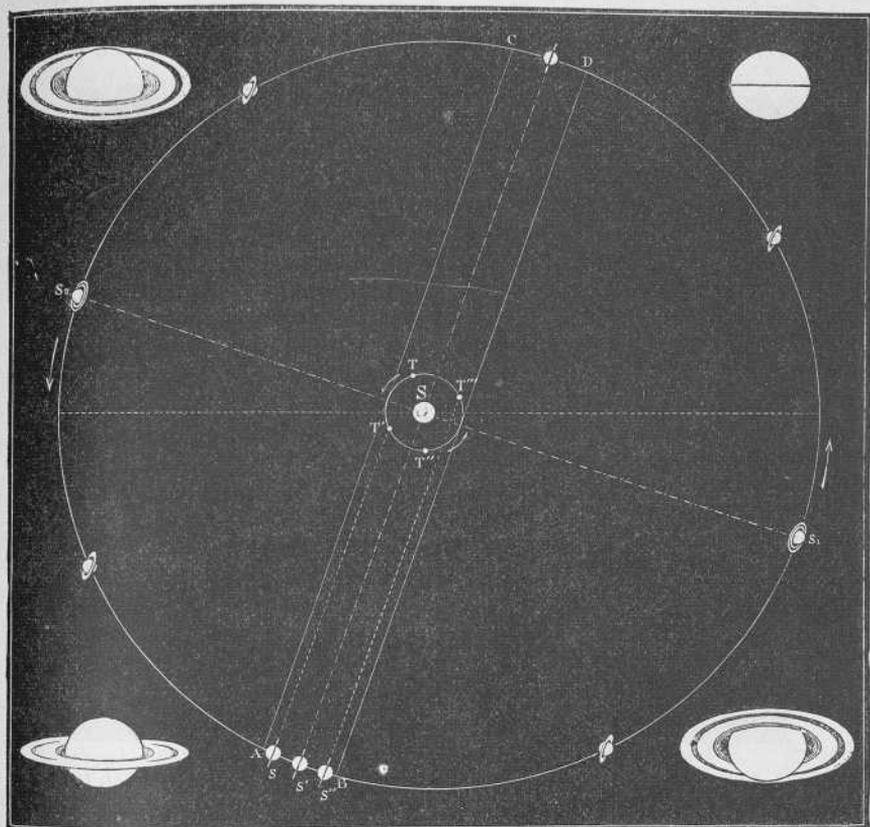


Fig. 193. — Apariciones y desapariciones periódicas del anillo de Saturno: fases máximas

anillo, ocultándose otra parte; Auzout fué el primero que percibió la sombra de Saturno en el anillo, en 1662.

Cerca de la región en que el anillo se proyecta sobre el planeta, se distingue en la superficie de éste una sombra, que marca con toda evidencia la zona en que, á causa de la interposición de la materia sólida del anillo, no penetra la luz del Sol; luego el planeta no es luminoso por sí mismo, y brilla únicamente porque refleja la luz solar. Esta conclusión puede ampliarse hasta el anillo, pues en la parte diametralmente opuesta á la de la sombra del planeta se proyecta éste,

por el contrario, sobre el anillo, con una sombra negra, muy fácil de distinguir y de reconocer por su paralelismo con los bordes del cuerpo que la produce.

El anillo desaparece en la mayor parte de nuestros telescopios cuando su plano pasa por la Tierra, porque el ángulo que subtiende es demasiado pequeño para que produzca un efecto sensible en nuestros ojos; sin embargo, la luz reflejada por el canto es bastante perceptible si se hace uso de un gran telescopio ó refractor.

En todo lo que precede, hemos hablado del plano del anillo, pero esta de-

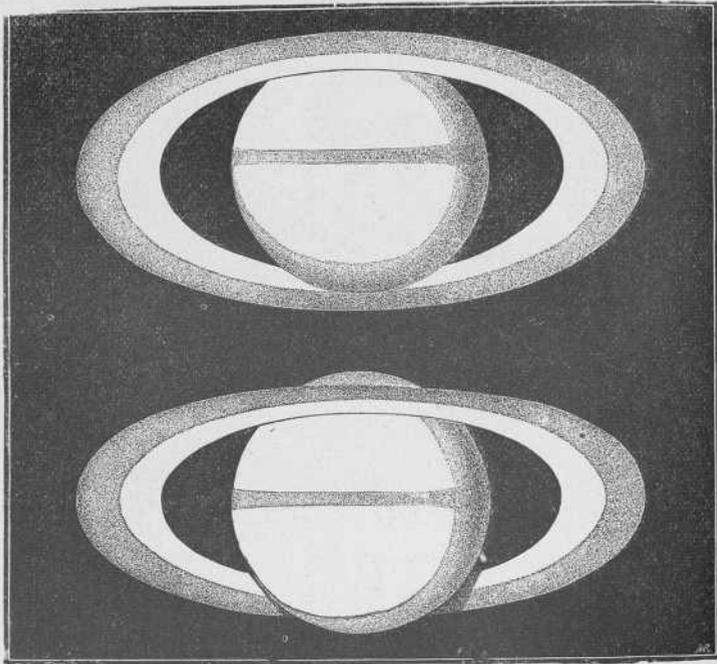


Fig. 194. - Descubrimiento del anillo doble de Saturno: dibujo de Cassini en 1675

nomiación no es por completo exacta; en efecto, ha sucedido siempre, en las épocas de las desapariciones, que una de las asas se borraba de un modo más perceptible que la otra, y que esta última se percibía durante mucho tiempo después de la desaparición de la opuesta. Iguales fenómenos se observan en la época de las reapariciones. Más aún: las asas han disminuído á veces de amplitud hacia las épocas de la plena fase, así que en 1714 aparecieron de la mitad del tamaño que presentan por lo general.

El anillo no es continuo y se divide en dos, encontrándose la separación más cerca del borde exterior que del interior. Esta observación se debe á Cassini ó al astrónomo inglés Ball; este último observaba en 1665 con un magnífico antejo de 38 pies ingleses de distancia focal, y dice «que no es un solo cuerpo

circular el que rodea el disco, sino que hay dos.» Cassini, diez años más tarde, en 1675, se expresa en los siguientes términos: «La parte interior es muy clara y la exterior algo oscura; la diferencia de tono puede representarse por la relación que hay entre la plata mate y la plata bruñida.» La fig. 194 representa el aspecto del doble anillo, según los dibujos del famoso astrónomo de Luis XIV. Además de la banda ó línea de separación descubierta por Cassini, se han hallado posteriormente muchas más, gracias á la excelente construcción de los anteojos modernos y á su extraordinaria potencia óptica; no podemos asegurar todavía que estas líneas ó divisiones indiquen separaciones reales en los anillos, por más que la primera parece ser, en efecto, una solución de continuidad; sin embargo, el anillo externo, el anillo A como lo llama Struve, es más oscuro, y en varias ocasiones se ha observado que lo divide una línea negra en dos par-

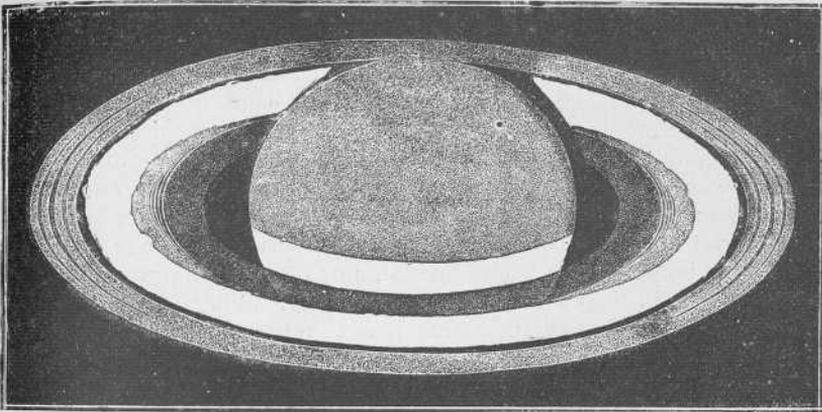


Fig. 195. - Divisiones del anillo externo de Saturno: dibujo de Bond, el 9 de enero de 1855

tes desiguales, situada la mayor en la parte de fuera, según Encke, y en la región interna, por el contrario, si nos atenemos á las observaciones de Lassell y de Dawes. Otras líneas se han visto también en los dos anillos, pero su número variaba con las épocas y las observaciones. En la fig. 195, que es reproducción de un dibujo del ilustre astrónomo americano Bond, se ve el anillo A dividido por tres líneas oscuras, de modo que aparece cuádruple. El anillo B, más inmediato á Saturno, no sólo parece más oscuro en su mitad próxima al planeta, sino que se presenta estriado en su borde interno por cuatro ó cinco líneas, que con toda atención observó Bond y que indican otras tantas divisiones concéntricas.

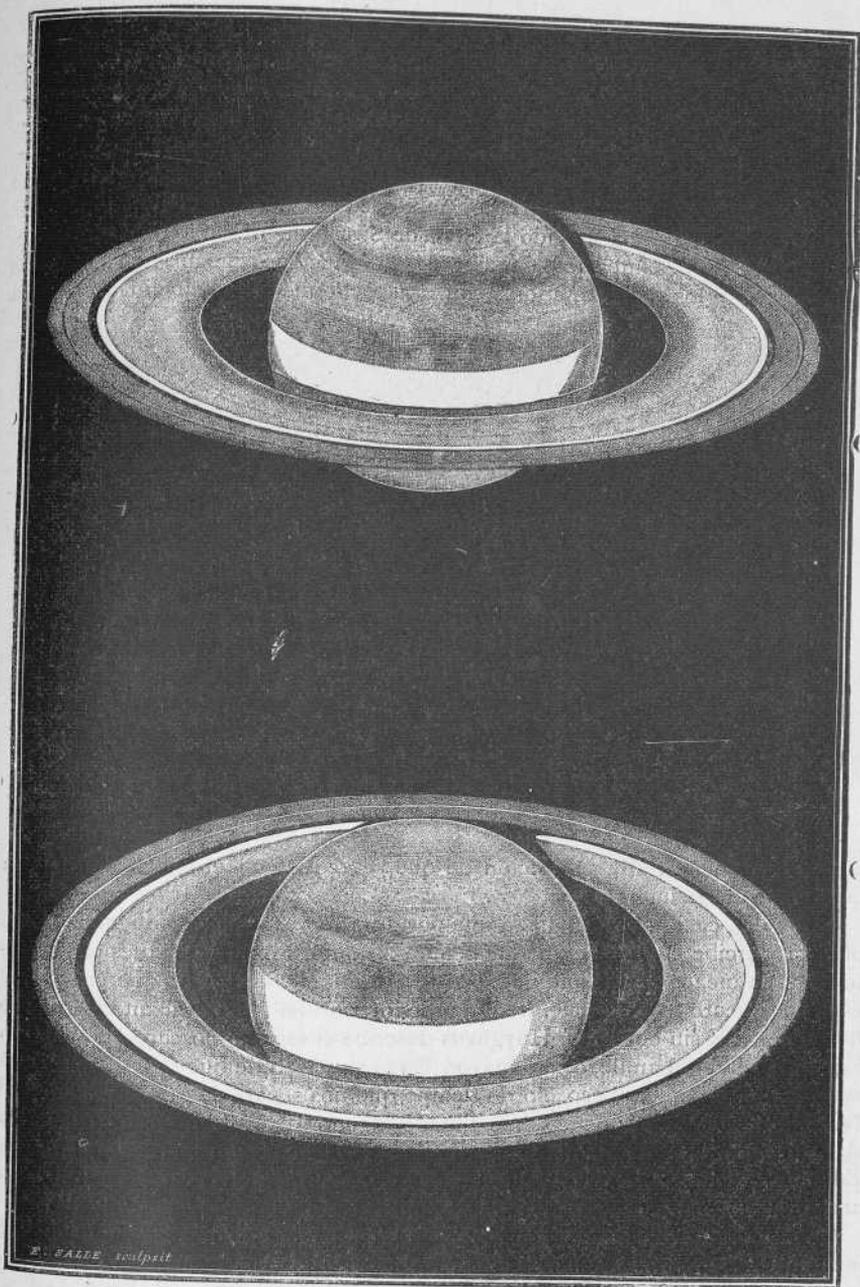
Finalmente, otro tercer anillo, que se llama el anillo C, fué descubierto por el mismo astrónomo de Cambridge (Estados Unidos) en diciembre de 1850. Se encuentra situado entre los anillos conocidos y el planeta y unido al borde interior del anillo B; tiene el aspecto de un anillo de crespón, y es tan negro y obscuro, que no se le puede percibir en los telescopios de mediano poder amplificador.

Struve ha reconocido que este anillo oscuro es doble también, y además transparente, pues á través de su espesor se distingue con toda claridad el contorno circular de Saturno.

En la actualidad no se sabe todavía con certidumbre si los anillos de Saturno sufren algunas modificaciones, pues hay motivos para creer que las supuestas divisiones adicionales que se observan de vez en cuando, se deben á errores visuales, debidos en parte á la sombra ú oscuridad que existe en varias regiones del anillo. Observando la lámina adjunta con la debida atención, se notará que el anillo exterior de Saturno presenta una línea oscura á su alrededor, situada en los dos tercios de la distancia que hay del borde interno al externo. Esta línea, sin embargo, no es tan fina y profunda como la que limita los dos anillos descubiertos por Cassini, sino que gradualmente decrece al aproximarse á los bordes. Como los observadores que han creído ver una división en este anillo no se dieron cuenta de la sombra proyectada por el anterior, debemos suponer que tomaron esta sombra permanente por una nueva división.

Durante la oposición de 1896, el Sr. Comas Solá, astrónomo de Barcelona, estudió el aspecto de Saturno y de su anillo. El llamado A ofrecía el mismo aspecto que en el año de 1894, siendo su color gris, con unas manchas blancas, observadas también por otros astrónomos, las cuales eran, sin embargo, menos visibles que en 1894. La división de Cassini era muy oscura, pero no negra en absoluto, y se presentaba algo borrosa hacia la parte próxima al anillo A, y bien cortada por el B. Este se componía de dos zonas: una exterior muy clara, sobre todo hacia el borde externo, y otra interior, muy oscura y transparente, á través de la cual se distinguía el cuerpo del planeta. El anillo C se veía con dificultad y era poco visible y transparente, pues su proyección sobre el disco ofrecía un tono más claro que las partes que se destacaban sobre el cielo de la noche.

El anillo, en conjunto considerado, es sensiblemente más luminoso que el planeta; pero ocupándose de sus partes constituyentes, ó de las dos porciones generales que lo componen, se nota que el exterior es mucho menos luminoso que el interior; el anillo interno es más brillante cerca de su borde externo, oscureciéndose poco á poco á medida que se registran porciones más inmediatas al límite interno; en este punto parece que se unen los bordes del anillo interior B con el anillo oscuro de crespón C. Según se ven con el gran antejo de Washington, de 66 centímetros de diámetro, no existe contraste brusco entre el borde interno ú oscuro del anillo brillante y el borde externo del anillo oscuro; se ha supuesto que uno de ellos se proyecta sobre el otro de un modo casi insensible, pero la verdad es que hay que acoger con gran desconfianza las observaciones todas que se relacionan con este punto, y mucho más las teorías de los astrónomos; por ejemplo, en 1851, dió á luz Struve un trabajo sobre las modificaciones y cambios de los anillos de Saturno, en el que trataba de demostrar que el borde interior del anillo se aproximaba gradualmente al planeta á causa de que todo el anillo se estrechaba hacia el centro, haciéndose cada vez más pequeño el espacio anular interior; esta teoría, sin embargo, es muy antigua y tuvo su origen en el siglo XVII, cuando se publicaron los dibujos de los anillos por los astrónomos que los habían observado, en particular por Huyghens, resucitán-



SATURNO, según las observaciones de Bond, de Struve y los dibujos de Warren de la Rue; noviembre de 1852 y marzo de 1856

dose de nuevo por Struve, después de las mediciones efectuadas por los astrónomos de los tiempos modernos.

Si aceptamos que la contracción del anillo sea de $1''/3$ por siglo, como pretendía Struve, en el año 2150 se encontrarían en íntimo contacto el borde interior del primer anillo y la periferia ecuatorial de Saturno; y como parece fuera de todo lo probable que se verifique un cambio cósmico tan estupendo con rapidez tan extraordinaria, se ha acogido la teoría de Struve de un modo poco favorable.

De otro lado, es imposible conciliar las descripciones que nos han legado los astrónomos de los siglos anteriores con el aspecto que en la actualidad presenta

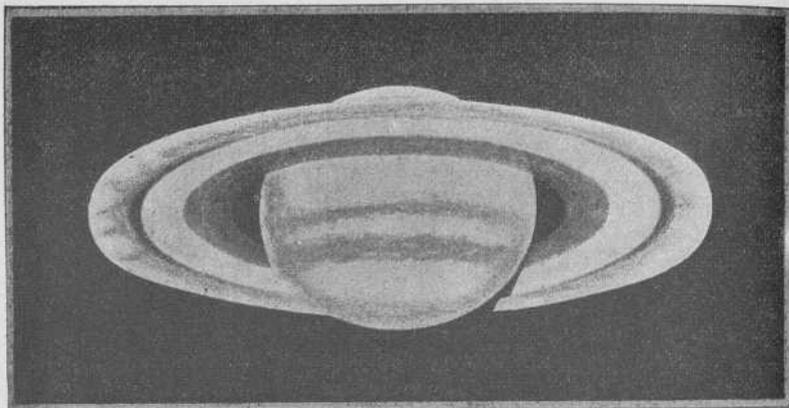


Fig. 196. - Saturno y sus anillos el 18 de junio de 1896, dibujo de M. J. Comas Sola
(Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia.)

el anillo, sin acudir á la suposición de que se verifica en el anillo saturnal un cambio de cierta importancia.

Hoy día, cualquier aficionado que por primera vez mira la configuración del planeta, percibe fácilmente que la anchura de ambos anillos brillantes es en junto, cuando menos, como una mitad más, si no doble, del ancho que presenta el espacio obscuro que media entre el borde interior del anillo brillante y el limbo del planeta. Y sin embargo, Huyghens describe el espacio obscuro como de un ancho igual al del anillo, ó algo mayor. En el supuesto de que el anillo no haya sufrido alteración en el espacio de tiempo que nos separa de la observación del famoso matemático flamenco, han tratado algunos de atribuir la discrepancia á defectos propios del anteojo empleado por Huyghens; pero esta razón es de todo punto inadmisibile, puesto que las imperfecciones de las lentes se hubieran manifestado precisamente en opuesto sentido.

El defecto principal de que adolecían los antiguos anteojos astronómicos era el de representar los planetas y demás objetos brillantes demasiado grandes, y por consecuencia, más pequeños que la realidad los espacios oscuros, lo cual era debido á las irradiaciones producidas por la imperfecta elaboración de los objetivos y aun de los oculares.

Los dibujos que hemos insertado en la página 362 (fig. 191) parecen confirmar la hipótesis de Struve, pues en casi todos ellos los espacios oscuros son más perceptibles que los bordes del anillo; pero cuando hoy día observamos el planeta Saturno á través de una atmósfera poco transparente y saturada de vapores, aunque se puede percibir con claridad el contorno elíptico del anillo, el espacio oscuro casi desaparece por la invasión de la luz del globo planetario y del anillo mismo.

La figura 197, trazada según la teoría de Struve, reproduce las dimensiones relativas del anillo y del globo de Saturno en las tres épocas de 1657, 1799 y 1851. Las deducciones que de los hechos expuestos anteriormente obtiene el famoso astrónomo ruso son las siguientes: el borde interior del anillo se aproxima al cuerpo del planeta de un modo constante; la aproximación del borde interno está en relación con la mayor anchura que gradualmente ofrece el anillo brillan-

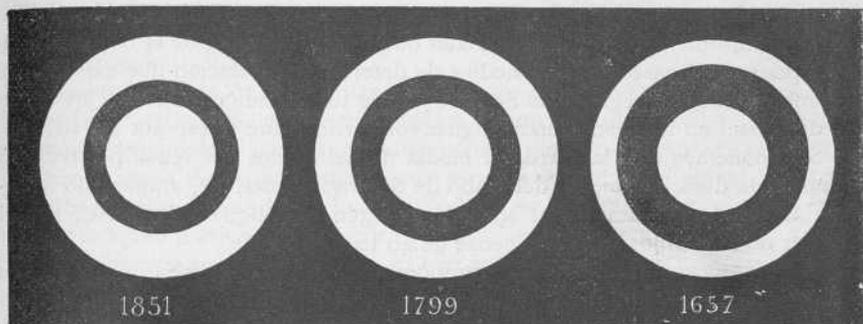


Fig. 197. — Variabilidad del anillo de Saturno de 1657 á 1851

te, y por último, en el período transcurrido entre las observaciones de J. D. Cassini y las de Herschel, el ancho del anillo B ha aumentado en mayor proporción que el anillo A.

Es este, pues, uno de los puntos más dudosos de la astronomía, que sólo podrá resolverse con el concurso de los futuros observadores.

Volvamos ahora al estudio telescópico de los maravillosos apéndices anulares del planeta Saturno. Antes de pasar adelante, conviene que presentemos las dimensiones exactas de estos notables objetos, según las observaciones de Barnard, efectuadas en 1894 y 1895.

| | | Medidas micrométricas | Leguas |
|--|----------------------------|--------------------------|--------|
| Anillo externo A. | Diámetro externo | 40",108 | 69 311 |
| | » interno | 35 ,046 | 60 563 |
| | Ancho del anillo | 2 ,031 | 4 374 |
| Espacio entre los anillos A y B. | Diámetro externo | 0 ,530 | 788 |
| | » interno | 33 ,988 | 58 986 |
| Anillo intermedio B. | Diámetro externo | 25 ,647 | 44 328 |
| | Ancho del anillo | 4 ,170 | 7 329 |

El espesor ó grueso del anillo es muy escaso, según resulta de los cálculos de Herschel, quien no lo midió directamente, contentándose con comparar el filete luminoso visible en agosto de 1789, época de una de las reapariciones, con el diámetro de dos de los satélites; este astrónomo dice que los satélites pasaban como dos perlas por un hilo, y estima que su espesor debe ser de unas 100 leguas. Bond supone que esta cifra es muy elevada, y reduce el grueso á 16 leguas.

Esta considerable diferencia se explica por la pequeñez y enorme distancia del objeto medido. Cuando el canto del anillo se dirige hacia el observador, se presenta, aun en los telescopios más poderosos, como una delicadísima y fina línea luminosa, hasta tal extremo, que los hilos de araña que forman el retículo colocado en el campo visual del instrumento, parecen á su lado tan gruesos como los cables de un navío. Así vemos que Herschel I le asigna un espesor de más de 100 leguas, Herschel II menos de 10 y Bond unas 16.

El ilustre Bessel, de Koenisberg, calculó la masa de los anillos basándose en las perturbaciones que imprime el movimiento de la línea de los ápsides del satélite Titán, obteniendo como resultado de sus cálculos $\frac{1}{113}$ de la masa del planeta; pero como carecemos de medios de determinar la relación que existe entre la densidad media del globo de Saturno y la de sus apéndices anulares, los cálculos de Bessel no nos permiten averiguar con certidumbre el espesor del sistema.

Si suponemos que la densidad media de los anillos sea igual, poco más ó menos, á la densidad media del globo de Saturno, se deduce, empleando la determinación de la masa de los apéndices, según los cálculos de Bessel, que el espesor de los anillos no pasa apenas de 40 leguas.

Para formarse una idea de las proporciones del globo de Saturno y de los anillos, puede el lector cortar un disco de papel tan grueso como el de la presente obra, de 50 milímetros de diámetro, y recortándolo interiormente hasta formar una corona circular de 13 milímetros de ancho, obtendrá una representación bastante aproximada del anillo saturnal, más completa aún si lo sombrea por ambas caras en una extensión de 3 milímetros, á partir del borde interno, y traza una línea negra de menos de un milímetro de grueso y á una distancia de tres á cuatro milímetros del borde externo.

Al considerar la enorme magnitud y extraña conformación de los anillos de Saturno, únicos ejemplares de tan original sistema en el mundo solar, no debe llamarnos la atención que sobre su esencia y naturaleza se hayan emitido tantas hipótesis, se hayan fundado tantas teóricas especulaciones, y que algunos espíritus cultivados, sin atender á los principios más elementales de la ciencia, hayan publicado, de vez en cuando, las más estrambóticas ideas. Así, por ejemplo, Maupertuis admitía que la cola de un cometa, que en un tiempo hubo de pasar cerca de Saturno, fué atraída por la masa del planeta, y separada de su curso, vióse obligada á circular en torno de su nuevo cuerpo primario, hasta que, uniéndose ambos extremos, quedó cerrado el anillo.

No deja de ser extraño que Buffon, autor de la teoría en que se supone que todos los planetas son porciones arrancadas á la masa solar por el paso de los cometas, rehusara admitir la hipótesis de Maupertuis sobre la naturaleza cometeria de los anillos saturnales, puesto que en esta teoría hallaba un fuerte apoyo en favor de la suya propia.

Buffon suponía que en su origen el ecuador de Saturno se extendía hasta el canto exterior del anillo, y que las regiones ecuatoriales habían sido lanzadas fuera del planeta por la fuerza centrífuga, contrayéndose el resto de la esfera gradualmente hasta obtener sus dimensiones actuales.

Hasta hace poco, relativamente, casi todas las explicaciones que se encuentran en los autores sobre el estado original de los anillos, están conformes en suponerlos formados por una substancia sólida y continua; á primera vista, parece que esta hipótesis es perfectamente admisible, toda vez que los anillos presentan una forma tan constante y regular como los demás cuerpos que componen el mundo planetario; pero examinando el asunto con mayor detención, se hallan, sin embargo, dificultades muy serias, que se oponen á que sin más examen se admita la teoría de la solidez del sistema.

En primer lugar, acabamos de ver en los párrafos anteriores que los anillos presentan con gran frecuencia signos de división, los cuales distan mucho de ser permanentes, pues unas veces varían de lugar, desapareciendo otras por completo. Es difícil explicar estos cambios, en el supuesto de que los anillos tengan una constitución sólida.

La aproximación de dos anillos, concéntricos en su origen, puede, cierto es, borrar las soluciones de continuidad en los puntos de aproximación, ó en aquellos que se encuentran muy inmediatos; pero en cambio, en la parte opuesta de la circunferencia deben presentarse unos espacios intermedios mucho más considerables, desapareciendo las huellas de la división que hubiera pertenecido á cualquier anillo particular, concéntrico con la división mayor.

Las observaciones demuestran lo contrario, esto es, que los trazos ó vestigios de división, vistos en diversas ocasiones, pertenecen á círculos distintos; más difícil es de explicar todavía, en esta hipótesis, el aspecto que se observa á veces en los anillos, pues entre unos y otros se perciben como unas bandas circulares blanquecinas, ó pulverulentas, de existencia fugitiva. Una división ó corte entre los anillos, permanente ó no, que permitiese distinguir el color obscuro del cielo, aparecería completamente negra, lo mismo que la división principal ó anillo obscuro, y las bandas blanquecinas ó pulverulentas de que hablamos, indican tan sólo una semitransparencia de ciertas regiones de los anillos.

En esta teoría habría que admitir que los anillos sólidos y planos presentan divisiones concéntricas, de diámetros variables en diversas épocas, y que de tiempo en tiempo aparecen bandas concéntricas también, de constitución semitransparente, y por último, que con intervalos variables disminuye el diámetro de las divisiones y adquieren las bandas transparentes su primera opacidad. Pudiera objetarse, no obstante, que estas líneas no fuesen necesariamente divisiones de los anillos, y que se debieran á una serie de montes ó colinas cuyas sombras negras se proyectasen sobre el plano del anillo, y que las bandas pulverulentas tuviesen su origen en la proyección de algún distrito montañoso; pero en ambos casos se tropieza con la dificultad de que estas irregularidades se presentan formando siempre arcos circulares concéntricos á los anillos.

Han tratado algunos astrónomos de explicar estos misteriosos fenómenos, atribuyendo la desaparición de las líneas divisorias de los anillos á la existencia

de una atmósfera semejante á la de la Tierra y cuyas nubes ocultasen, de vez en cuando, ciertas porciones de los apéndices saturninos; pero la disposición de una atmósfera que pudiera producir tales efectos habría de ser tan artificial, que esta sola consideración debiera bastarnos para rechazar suposición tan infundada.

Los argumentos contra la solidez de los anillos, deducidos de las variaciones de las líneas obscuras divisorias, quedan, pues, en pie, á pesar del concurso de los que pretenden sostener esta teoría, apoyando sus argumentos en la suposición de que los apéndices se encuentren rodeados por una envoltura gaseosa. Semejante explicación es inaplicable asimismo á las objeciones que vamos ahora á discutir.

Hemos visto que uno de los más preclaros astrónomos ha podido percibir en el anillo obscuro unas líneas ó divisiones que, de vez en cuando, parecen apartarse de la circunferencia interna del anillo brillante inmediato, por espacios de bastante consideración; estas apariencias ofrecen gran analogía con las del anillo brillante y su periódico aspecto pulverulento; pero existen ciertos fenómenos relacionados con el anillo obscuro, imposibles de explicar, en el supuesto de que los apéndices circulares están formados por una substancia sólida. En primer lugar, tenemos la circunstancia especial, ya mencionada, de que este anillo se descubrió hace poco más de setenta años, con el auxilio de uno de los telescopios más poderosos construídos hasta entonces, y que desde esa fecha se ha ido haciendo cada vez más perceptible, de tal manera que desde 1856 se distingue con un anteojito de muy escasa fuerza óptica. Segundo: como sabemos, este anillo es transparente, y el borde del disco del planeta se percibe como á través de un velo, sin deformación alguna; si la substancia del anillo fuera sólida, ó fluida transparente, y poseyese propiedades análogas á las de los cuerpos transparentes que se conocen aquí en la Tierra, el borde del disco planetario se percibiría deformado, por la refracción que experimentaría la luz al atravesar este medio diáfano; este argumento, sin embargo, no es de mucha fuerza, puesto que si las caras planas del anillo obscuro fuesen paralelas, sería muy pequeña la deformación, toda vez que su valor dependería del espesor del anillo, y probablemente no se percibiría, ni aun valiéndose de anteojos de gran potencia. Las razones más poderosas que, á nuestro juicio, pueden aducirse en contra de la solidez de los anillos negros de Saturno, las hallamos en que precisamente han de ser diáfanos, porque á su transparencia hay que atribuir que alguna vez se les confundiese con una de las bandas que se distinguen en el disco del planeta, y porque su opacidad aumenta de día en día, hasta el punto de que en la época presente son visibles con gran facilidad.

Fijémonos ahora en las dimensiones de los anillos; hemos visto que su grueso ó espesor es muy pequeño, en comparación de las demás dimensiones; un anillo de hierro, fabricado en la propia escala que los apéndices saturninos, habría de ser tan tenue, que con la mayor facilidad se quebraría ó cambiaría de forma. Mas al considerar la tenacidad de los cuerpos que pueden fabricarse de diversas substancias, no nos basta conocer sus proporciones, sino que necesitamos saber también la escala en que están construídos; así, pues, si un ingeniero que se propusiera construir un puente de hierro de una longitud determinada y

propia para soportar un peso dado, hiciese fabricar un modelo de algunos centímetros de largo de la misma clase de hierro, y determinara las proporciones del puente verdadero por las proporciones que acusase el modelo como más adecuadas para soportar un peso fijado de antemano, llegaría á construir una obra muchísimo más ligera y probablemente incapaz de sustentar su propio peso. Mientras mayor sea la escala en que se construya un modelo de hierro de los anillos de Saturno, menor será, en la debida proporción, la fuerza y solidez de

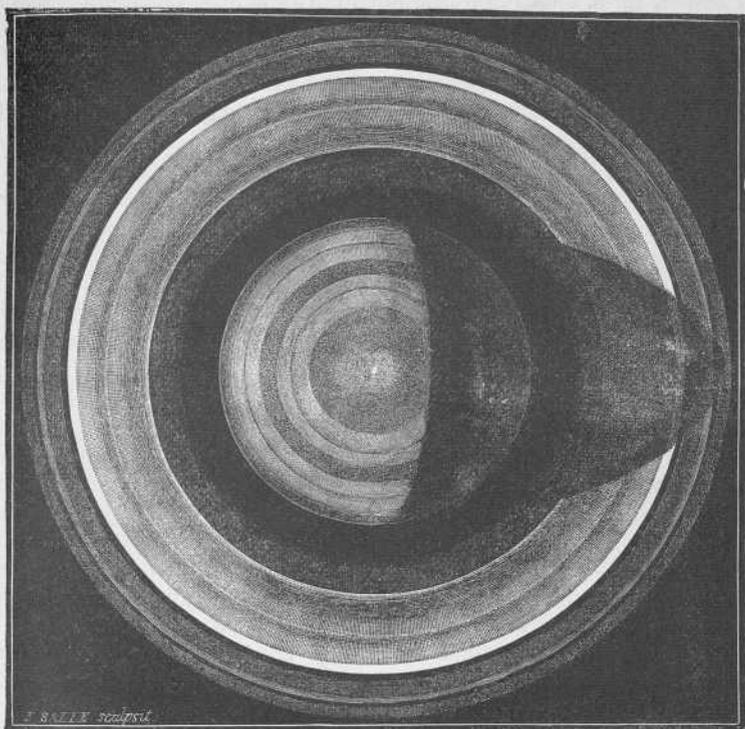


Fig. 198. — Saturno y su sistema de anillos proyectado sobre el plano del ecuador

éstos, hasta tal punto, que si fuera posible imaginar un aro plano de hierro, de las mismas dimensiones que los apéndices del planeta, resultaría por completo inadecuado para sufrir las ondulaciones y movimientos que se observan en el anillo saturnino, y menos aún si dividimos el aro en varias coronas concéntricas.

Pero no es esto todo. Hemos visto que los anillos presentan un espesor de unas 40 leguas, en el supuesto de que la densidad media de la substancia de que se compongan sea igual á la densidad media de la masa de Saturno, esto es, 0,75 siendo 1 la del agua. Ahora bien: la densidad del hierro forjado es de 7,7, que equivale, poco más ó menos, á 10 veces la densidad media de Saturno,

y no es probable que exista una substancia (en nuestro planeta al menos no se conoce) que tenga la fuerza de cohesión y la tenacidad del hierro con una densidad mucho menor, es decir, con una densidad inferior á 3,75 ó cinco veces la de Saturno.

Si aceptamos que la densidad media del anillo de este planeta sea igual á 3,75, en este caso, en vez de obtener como grueso del sistema 40 leguas, se deduce un espesor que escasamente alcanza á 7 leguas; espesor que en un modelo de los anillos, en la escala correspondiente á la lámina cromolitografiada que va al principio del tomo, sería inferior al del papel más fino que puede fabricarse.

Las dificultades con que han tropezado los astrónomos para explicar la constitución de los anillos de Saturno, demuestran la exactitud de la máxima filosófica de que la sorpresa sólo es resultado de un conocimiento incompleto de las cosas, sorpresa que es incompatible con la ignorancia absoluta ó con el completo saber. Los que desconocen todo, no pueden admirarse de nada, puesto que nada esperan, y el conocimiento perfecto de lo que debe ocurrir excluye el mismo sentimiento. Los astrónomos de hace doscientos años no encontraban motivo para sorprenderse de que un planeta estuviese rodeado por un par de anillos que lo acompañasen también en su órbita, porque desconocían los efectos de la gravitación sobre cuerpos de la forma de estos apéndices; y sólo después de las investigaciones y trabajos de Laplace, se vió que un anillo uniforme y homogéneo que rodease al planeta, tenía que encontrarse precisamente en equilibrio inestable. El ilustre matemático francés demostró que, según sus trabajos é hipótesis, el anillo tiene necesariamente que estar animado de un movimiento de rotación alrededor del planeta; la inmensa fuerza de atracción que una esfera tan enorme como la de Saturno debe ejercer sobre los anillos, queda de esta suerte equilibrada. Cuando un satélite gira en torno de un cuerpo primario, la atracción entre el planeta y el satélite hace cambiar la dirección del movimiento de este último de tal manera, que si de pronto se disminuyese la rapidez del movimiento, el satélite se aproximaría al cuerpo principal, y si cesara por completo, se precipitaría sobre su primario. Ahora bien: cada porción del anillo se encuentra sujeta á la inmensa fuerza atractiva de la masa de Saturno, y asimismo á la fuerza atractiva, no despreciable por cierto, de las demás partes del anillo.

Claramente se comprende que un movimiento análogo al de un satélite independiente no puede existir en cada una de las partes en que es posible dividir un anillo sólido; pues si las regiones externas tuviesen la velocidad que les asigna la teoría, las regiones internas se moverían con demasiada lentitud y se verían atraídas hacia el centro, y por el contrario, si las porciones internas están dotadas del movimiento que les corresponde, las partes externas girarían con demasiada rapidez y serían lanzadas hacia afuera, pues su fuerza rotatoria superaría á la atracción del planeta.

Es obvio que la hipótesis más favorable que puede hacerse sobre la existencia del anillo, consiste en suponer que su movimiento de rotación sea igual al que tuviera un satélite colocado á la distancia media que ocupan las partes centrales del apéndice saturnal. Pero, aun en este caso, las regiones externas del anillo poseerían una velocidad excesiva, y demasiado pequeña las internas; de

modo que si las primeras no estuviesen sujetas por la cohesión, viajarían por una órbita mucho mayor que la que recorren en efecto, y las segundas, una órbita pequeñísima. La cohesión de un anillo plano de las dimensiones del de Saturno es insuficiente para resistir á estos esfuerzos; los cantos interno y externo de un anillo semejante se quebrantarían en infinitos trozos ó fragmentos irregulares, que separándose del aro central principiarían á recorrer órbitas excéntricas.

Las afirmaciones de Laplace fueron aceptadas por los astrónomos, durante cerca de medio siglo, como la única interpretación posible de la estabilidad de los anillos de Saturno; sus conclusiones se reducían, en suma, á suponer que la sección del anillo normal á su superficie tiene la forma de una elipse cuyo eje mayor se dirija hacia el centro del planeta, presentando en varios puntos distintas curvaturas y anchos diversos. En estas condiciones, el centro de gravedad del

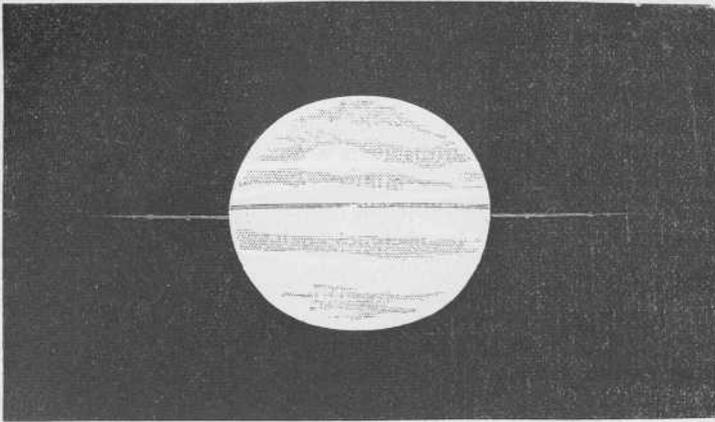


Fig. 199. — Aspecto de Saturno el 28 de noviembre de 1848, dibujado por Bond: líneas y puntos brillantes de los anillos

anillo no coincide con el del planeta, resultando de aquí unas oscilaciones lentas en sus posiciones relativas. Además, es condición esencial que los anillos giren sobre sí mismos alrededor de un eje perpendicular á sus planos, y que pase por el centro del planeta, con objeto de que su fuerza de gravitación hacia Saturno se encuentre equilibrada por la fuerza centrífuga que engendra este movimiento. La velocidad de la rotación, en este caso, debiera ser de poco más de diez horas; las observaciones de Herschel concordarían, pues, con los resultados del cálculo, toda vez que este ilustre y laborioso astrónomo dedujo de sus investigaciones, verificadas en 1790, un período de 10 horas y 32 minutos.

Dice Herschel que de vez en cuando se presentan en la superficie del anillo, cuando está á punto de desaparecer ó poco después de su reaparición, unas desigualdades que desde cierto punto de vista pueden llamarse reales, puesto que provienen, verosímilmente, de manchas luminosas amplificadas por irradiación. De este modo, y en virtud de un hecho solo, se verían confirmadas por la observación dos de las principales condiciones de equilibrio indicadas por Laplace: las

desigualdades en la estructura de los anillos y su movimiento de rotación. En el dibujo de la fig. 199, debido á S. P. Bond, hecho en la época en que el anillo acababa de desaparecer por encontrarse precisamente en uno de sus nodos, se ven á cada lado las desigualdades ó puntos brillantes de Herschel. Pero el astrónomo americano atribuye estas apariencias á las partes del anillo que el Sol iluminaba aún en esta época, en el sentido de su espesor; y en apoyo de su tesis presenta la fig. 200, que reproducimos; no menciona, sin embargo, la dislocación de los puntos brillantes que señaló Herschel.

La continuidad que se observa en el aspecto de los anillos puede hacernos suponer que estén formados por un cuerpo fluido: las variaciones de forma del sistema, las divisiones temporales de los anillos brillantes y la transparencia del anillo obscuro parecen explicarse en esta teoría de un modo satisfactorio. Sin embargo, la idea de un océano aislado, de dimensiones tan extraordinarias y equilibrado de un modo tan artificial y precario, no halla fácil acceso en nuestro entendimiento, y casi se acoge como un recurso contra objeciones más serias, como las que hemos registrado sobre la formación sólida.

La única hipótesis que podemos aceptar consiste en suponer que los anillos estén compuestos de fragmentos aislados de satélites, tan pequeños y estrechamente unidos, que á la inmensa distancia á que se encuentra Saturno de nosotros, parezcan formar una masa continua.

Como argumento que *à priori* puede presentarse á favor de esta hipótesis, encontramos los ejemplos de formaciones análogas que ofrece el sistema solar. En la zona de asteroides tenemos una prueba fehaciente de la posibilidad de que exista una nube de pequeños cuerpos aislados, dotados de movimiento circulatorio en torno de una masa central de atracción. La existencia de las zonas de aerolitos, de que á su tiempo nos ocuparemos, que circulan alrededor del Sol, se acepta hoy día por todos los astrónomos como la única explicación probable de la periodicidad de las lluvias ó enjambres de estrellas fugaces. Asimismo, el singular fenómeno llamado luz zodiacal se debe probablemente á un anillo de pequeñísimos cuerpos cósmicos, que giran en torno del astro central de nuestro sistema. En la vía láctea, y en las nebulosas anulares, hallamos otros ejemplos de esta disposición de la naturaleza cósmica, que pertenecen, no obstante, á un orden mucho más elevado y superior que los que contemplamos dentro del limitado recinto del mundo solar.

Consideremos ahora bajo qué aspecto se presentan las dificultades que hemos encontrado, al suponer los anillos sólidos y continuos, en la hipótesis de que el sistema esté formado por una aglomeración de satélites.

Las divisiones temporarias y las bandas semilúcidas se explican con gran facilidad en esta teoría. Se concibe, por ejemplo, que las corrientes de satélites que forman los anillos puedan ser separadas alguna que otra vez, afectando arcos de diversas magnitudes, por bandas estrechas desprovistas de satélites, ó por bandas en donde los satélites se encuentren más distantes unos de otros. Las divisiones de la primera clase deben aparecer como líneas negras, al paso que las de la segunda presentan precisamente el aspecto nebuloso observado en las bandas pulverulentas y de color de ceniza. La transparencia del anillo negro interior se concibe fácilmente, si consideramos que los satélites se encuentren esparcidos á

través de la formación; y que este anillo haya sido visible tan sólo en estos últimos años, no presenta ya una dificultad insuperable, pues se comprende, sin mayor esfuerzo, que los satélites que forman el anillo obscuro han pertenecido en su origen al anillo brillante interno y que por choques ó atracciones perturbadoras han sido separados de su puesto anterior. El ensanchamiento gradual ó dilatación interna de los anillos se explica también si se acepta que el sistema esté compuesto de satélites, unidos entre sí exclusivamente por sus atracciones mutuas, á la vez que su escaso espesor es una consecuencia precisa de este género de formación, puesto que la atracción del ensanchamiento ecuatorial de Saturno tiene que obligar á cada satélite á circular en la inmediata vecindad del plano ecuatorial del planeta.

Si una nube de satélites de esta naturaleza pudiera registrarse en sus movi-

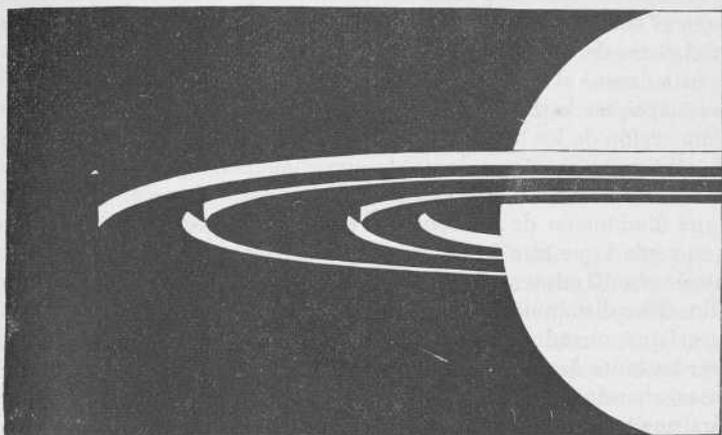


Fig. 200. — Explicación de los puntos brillantes de Saturno durante la desaparición del anillo

mientos desde el eje mayor al menor del sistema, se verían aproximarse de un modo gradual los discos de los satélites componentes, y ocultarse unos á otros, hasta que, por último, desapareciesen todos los espacios oscuros intermedios. Si los satélites no fuesen visibles individualmente, aparecerían en conjunto como una nube pulverulenta en la primera posición, disminuyendo á medida que variaba la anchura de su plano, hasta que, en la última posición, adquirirían tanto esplendor como las partes externas del anillo brillante. Por manera que, según esto, podemos considerar el anillo como compuesto de una inmensa nube ó aglomeración de satélites, y si bien los miembros que forman estos gigantes enjambres no conservan inalterables sus posiciones relativas, ni aun por algunos segundos, sin embargo, la densidad media, respecto del número de satélites, en cualquier punto de la zona, puede considerarse uniforme. De aquí se deduce fácilmente que debe de haber un aumento gradual en el brillo y esplendor de los anillos, ya se recorran en su ancho de dentro á fuera, ora se examinen á lo largo de cualquier círculo concéntrico al contorno de los anillos, desde el ma-

yor hasta el menor de los ejes aparentes del sistema. De otro lado, como parece imposible encontrar otra explicación de estos espacios oscuros, se deduce que en el anillo brillante, y probablemente en los demás miembros del anillo doble externo, se conserva la distribución indicada, esto es, que los satélites componentes son más numerosos en el límite externo de los anillos brillantes, hallándose distribuidos con mayor escasez hacia los límites internos; y que, á pesar de existir ciertas irregularidades locales, como por ejemplo, las líneas oscuras divisorias, en conjunto aumenta la densidad de los satélites, en cuanto á su número, á medida que se acercan á los bordes externos de los anillos.

Las apariencias observadas por los señores Wray y Otón Struve, inexplicables en las teorías anteriores, encuentran ahora en esta hipótesis una explicación razonable y sencilla, pues se concibe que las atracciones perturbadoras de un satélite externo de Saturno puedan obrar sobre los satélites pequeñísimos que componen el anillo, desviándolos del plano ecuatorial ó plano medio; así que cuando el canto del anillo está vuelto hacia el observador, presentan los satélites, por esta causa, el aspecto nebuloso á que hemos aludido; por otra parte, mientras mayor sea la densidad ó aglomeración de los satélites componentes de cualquiera región de los anillos, mayor será la resistencia que presenten en conjunto á estas perturbaciones; de suerte que el aumento gradual de la anchura de estos apéndices nebulosos, que aparentemente se aproximan al disco del planeta, indica una disminución de su densidad en el sentido expresado anteriormente, si bien es verdad que este fenómeno puede explicarse de un modo satisfactorio de otra manera. El número de los satélites, á una distancia dada del plano central del anillo, debe disminuir rápidamente, según que esta distancia sea más considerable; así que, cuando la distancia es muy pequeña, deben los satélites perturbados ser bastante densos para que puedan percibirse cerca de las extremidades de las asas, cuando la línea visual pasa á través de una zona poco numerosa; pero para que los satélites se vean en las zonas en que son poco numerosos, es necesario que la línea visual pase á través de un espesor más considerable, es decir, que caiga mucho más cerca del disco planetario.

La investigación del movimiento de un enjambre ó conglomerado de satélites que circule alrededor de un centro globular de atracción, es un problema demasiado complejo para que pueda resolverse con exactitud. Si los movimientos de nuestra Luna son de naturaleza tan compleja, que todavía, y á pesar de los esfuerzos de los más eminentes matemáticos, no se han podido determinar exactamente todas sus desigualdades y perturbaciones, ¿cuáles no serán los escollos de un problema en que se trata de los movimientos de cientos de lunas que mutuamente se perturban? Aun conociendo el tamaño exacto, la forma y posición de cada satélite y la velocidad y dirección de sus movimientos á cada instante, la investigación de los movimientos subsecuentes de todo el sistema sería una empresa imposible de realizar, á pesar del poderoso auxilio que pudiera encontrarse en los más sutiles y elevados procedimientos del análisis matemática. Pero desconocemos por completo todos esos elementos, y lo único que sabemos con certidumbre es que los cuerpos que constituyen el sistema son innumerables, y por la analogía que presentan con otras porciones del sistema so- ar podemos deducir que no son uniformes, ni sus magnitudes, ni su densidad

Cuatro años antes del descubrimiento del anillo de Saturno por Huyghens, percibió este mismo astrónomo, valiéndose de su antejo de 12 pies descrito anteriormente, en la noche del 25 de marzo de 1655, una estrella pequeñita, cerca del planeta, que observada con asiduidad durante varios días, resultó ser un satélite de Saturno, que giraba en torno del cuerpo primario en algo menos de 16 días, á una distancia próximamente de 300.000 leguas; por el brillo del satélite á la gran distancia á que se encuentra de la Tierra, supuso Huyghens que debiera superar en magnitud al mayor de los satélites de Júpiter, siendo tal vez algo más pequeño que Marte. En su *Systema Saturnium* manifestó su opinión de que este descubrimiento completaba el sistema solar, que entonces se componía de seis planetas principales ó primarios, que eran el Sol, Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter y Saturno, y seis planetas secundarios ó satélites: la Luna, de la Tierra; Io, Europa, Ganimedes y Calisto, de Júpiter, y Titán, de Saturno, cuyo total de 12 se dividía por mitad exactamente en astros primarios y secundarios del sistema solar, sin que fuera posible que existiesen más cuerpos, según las ideas admitidas comúnmente en aquella época. A no ser por esto, hubiese podido descubrir Huyghens con su poderoso telescopio dos satélites más ó quizás cuatro.

Doce años después de esta predicción, descubrió Cassini un segundo satélite, que circulaba á una distancia media, poco más ó menos, de 880.000 leguas de Saturno, en unos 80 días.

Este satélite no era tan brillante, y por lo tanto había que suponerlo más pequeño que el anterior; pero, á no dudar, superaba en magnitud al más voluminoso de los satélites de Júpiter. Pronto notó Cassini en este satélite un fenómeno singular; durante casi la mitad de su revolución en torno de Saturno, desaparecía regularmente, aun cuando se le observase con el mismo telescopio que servía para distinguirlo en el resto de su curso; de este hecho dedujo que la mitad de la superficie del satélite, ó un hemisferio, debía estar dotada de menor poder de reflexión que la otra mitad, y que como nuestra Luna, daba una vuelta sobre su eje, en el mismo tiempo que empleaba en girar en torno de su primario; poco después abandonó estas ideas, que fueron, sin embargo, confirmadas por Newton y Herschel, los que demostraron, el uno por el cálculo, y por la observación el otro, que no es posible explicar de otra suerte el fenómeno descrito por Cassini; Herschel distinguió con su poderoso telescopio las mismas apariencias que el ilustre italiano, observaciones que fueron repetidas en 1787 por Bernard, en Marsella, y por otros astrónomos en tiempos posteriores. Tenemos, pues, un planeta secundario que gira sobre su eje en dos meses y medio, mientras que el astro central, cuyo volumen es 15.000 veces mayor, verifica una rotación completa en menos de 10 $\frac{1}{2}$ horas.

El 23 de diciembre de 1672 descubrió Cassini un tercer satélite, cuya órbita se encuentra comprendida dentro de las de los dos satélites anteriores; verificó su descubrimiento valiéndose de un telescopio de Campani, de 35 pies de distancia focal; este satélite gira en torno de Saturno en poco más de cuatro días y medio, á una distancia media de 130.000 leguas. A juzgar por su brillo, es probablemente mucho menor que los anteriores; sin embargo, es más brillante que el satélite externo, cuando este último se encuentra en su elongación oriental.

Prosiguiendo Cassini sus investigaciones, descubrió en marzo de 1684 dos satélites más, con el auxilio de unos objetivos de Campani de 100 y de 136 pies de distancia focal.

El lector nos permitirá una pequeña digresión en este punto.

Cassini empleó también en sus observaciones anteojos de 200 y aun de 300 pies de foco, y Auzout llegó á fabricar objetivos que medían hasta 600 pies de distancia focal, esto es, 185 metros. Claro está que objetivos de foco tan exagerado no estaban sujetos en tubos fijos como los de los anteojos modernos, sino que se adaptaban á unas armaduras de corredera, que se apoyaban á la altura conveniente en unas larguísimas perchas de madera clavadas en el suelo; el objetivo y el ocular se conservaban á la distancia conveniente, por medio de alambres de largo proporcionado. Asombra el trabajo que tenían que llevar á cabo estos ilustres astrónomos para observar los cuerpos celestes, valiéndose de instrumentos tan incómodos, y se comprende que la invención de los reflectores ó telescopios, como los llamamos los españoles, se recibiera con verdadero júbilo. El telescopio que presentó Hadley á la Real Sociedad de Londres en 1723, que sólo medía 10 pies y 5 pulgadas de distancia focal, amplificaba tanto como el refractor de 123 pies que regaló Huyghens á la misma corporación. Sin embargo, las dificultades que presentaba el pulimento de los espejos metálicos para darles la forma parabólica conveniente, hicieron que su uso quedase por algún tiempo limitado.

Volviendo ahora á los dos últimos satélites descubiertos por Cassini, diremos que sus órbitas estaban encerradas dentro de las órbitas de los otros tres, y que sus distancias medias al centro de Saturno eran respectivamente de 94.000 y de 75.000 leguas. Ambos, pues, se hallan á menor distancia del planeta, de la que separa la Luna de la Tierra; invierten respectivamente $2\frac{3}{4}$ y $1\frac{7}{8}$ días en efectuar una revolución completa en derredor de Saturno; su brillo es casi igual, y sólo parecen inferiores en este respecto, y probablemente en magnitud, al tercer satélite descubierto.

Averiguó Cassini que los cuatro satélites interiores se movían en planos que coincidían muy aproximadamente con el de los anillos, y que el quinto recorría una órbita inclinada unos 15° sobre el mismo plano. El hijo de Cassini estudió estas relaciones con mayor escrupulosidad, y en 1717 publicó una tabla de las distancias, movimientos medios é inclinaciones de las órbitas de los satélites. Determinó también con el mayor esmero la posición del nodo ascendente del plano del anillo en la eclíptica y en la órbita de Saturno, y la posición del nodo ascendente del quinto satélite, respecto de estos mismos círculos. Halley corrigió los resultados obtenidos por Huyghens y Cassini I, y posteriormente, en 1720, publicó los elementos de las órbitas de los cinco satélites corregidos, deduciéndolos de una serie de observaciones efectuadas por Pond. Halley descubrió también una excentricidad en la órbita del satélite mayor, determinando groseramente su valor y la posición de la línea de los apsidés.

El descubrimiento de cuatro satélites por un solo astrónomo era un hecho tan extraordinario en la ciencia francesa, que el gobierno hizo acuñar una medalla en conmemoración de este suceso, con una inscripción que decía: *Saturni*

Satellites primum cogniti. Cassini llamó á los otros cuatro cuerpos descubiertos por él *Sidera Ludovicae* en honor de Luis XIV, su protector y fundador del Observatorio de París; estos nombres, sin embargo, han sido substituídos por otros tomados de la fábula. El satélite descubierto por Huyghens recibió el nombre de Titán, y los cuatro descubiertos por Cassini, en orden á sus distancias á Saturno, Tetis, Dione, Rhea y Jafet; pero el método más conveniente para indicar estos satélites y los que fueran descubiertos con posterioridad, consiste en numerarlos exclusivamente en orden relativo á sus distancias al cuerpo primario; así el satélite descubierto por Huyghens se conoce hoy día como el sexto, y los que halló Cassini, como el tercero, cuarto, quinto y octavo.

Casi un siglo después del descubrimiento de Tetis y Dione, el 19 de agosto de 1787, creyó Herschel distinguir un sexto satélite de Saturno, pero no quiso anunciar su descubrimiento hasta que se confirmó en su observación el 28 de agosto de 1789, valiéndose de su telescopio de 40 pies, que por aquel entonces concluyó; este hermoso instrumento, inferior únicamente al de lord Rosse, tenía un espejo de 4 pies de diámetro. Para dar una idea de la paciencia y fuerza de voluntad de Herschel, diremos que de 1775 á 1781 fundió, modeló y pulimentó unos 80 espejos de 23 pies de foco, 150 de 10 pies y 200 de 7 pies.

En la noche del 27 de agosto de 1789, como decimos, terminó Herschel su gigantesco telescopio, é inmediatamente lo dirigió al planeta Saturno; tan pronto como apareció el planeta en el campo del instrumento, distinguió con toda claridad seis estrellas en las inmediaciones del disco; de éstas, cinco eran los satélites descubiertos anteriormente, y había que determinar si la sexta era una nueva luna ó una estrella fija que se encontrase en la prolongación del rayo visual. En aquella época se encontraba Saturno cerca de su oposición, retrogradando con una velocidad de $4' 30''$ por día, por manera que el movimiento de su sistema á través de la esfera celeste, aunque lento, era perfectamente apreciable en un telescopio tan poderoso como el de Herschel; así que, dos horas y media después de la primera observación, pudo el incansable astrónomo adquirir la certidumbre de que las seis estrellas vecinas de Saturno eran todas satélites del planeta.

Averiguó Herschel que la órbita del satélite recién descubierto era interior á las de todos los demás; es menos notable, y por lo tanto, probablemente más pequeño que los otros; gira alrededor de Saturno en menos de un día y nueve horas, á una distancia de 60.000 leguas del centro del planeta y de 45.000 de la superficie.

Al continuar sus observaciones sobre este satélite, y á las tres semanas del descubrimiento, percibió Herschel el séptimo, casi tan pequeño, ó al menos tan poco brillante como el anterior, y que recorría una órbita aún más reducida; este satélite circula á una distancia del centro de Saturno escasamente superior

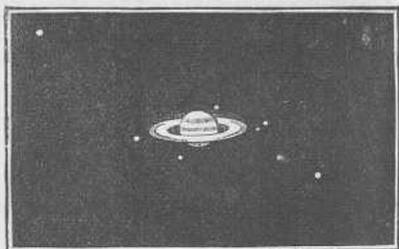


Fig. 201. — Saturno y siete de sus satélites

á 46.000 leguas, que son unas 32.000 desde la superficie; su distancia media al borde externo del anillo saturnino equivale á unas 13.000 leguas. Verifica su revolución en $22 \frac{1}{2}$ horas; halló también que ambos satélites se mueven en el mismo plano que los anillos, ó á lo menos que su discrepancia es tan pequeña, que no es posible percibirla; debido á esta coincidencia, y también á su pequeñez y distancia de la Tierra, se ven con gran dificultad, aun en los más poderosos telescopios, excepto cuando el anillo no está muy cerrado, que fué justamente lo que ocurrió en la época del descubrimiento. A estos satélites se les llamó Encélado y Mimas.

El 19 de septiembre de 1848 descubrió Bond, en Cambridge, Estados Unidos, un octavo satélite con el hermoso refractor del Colegio de Harvard; por

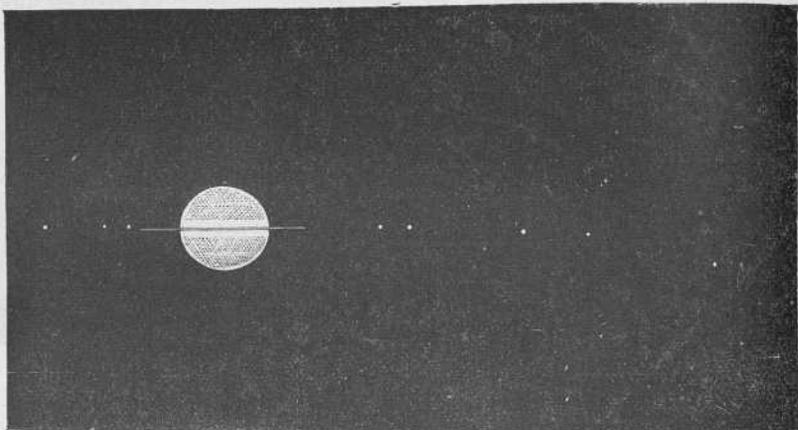


Fig. 202. — Descubrimiento del octavo satélite de Saturno, por Bond, el 19 de septiembre de 1848

una coincidencia singular, Lassell, de Liverpool, dos noches después, descubrió también el nuevo cuerpo, sin tener conocimiento de los trabajos de Bond. La órbita de este satélite está comprendida entre las de Titán y Jafet, de modo que es el séptimo en orden á sus distancias al planeta; efectúa su revolución en poco más de 21 días á una distancia del centro de Saturno de 376.500 leguas.

El Observatorio norteamericano de la Universidad de Harvard tiene establecida una sucursal en Arequipa (Perú). Entre los varios instrumentos que posee, se cuenta una ecuatorial fotográfica de 60 centímetros de diámetro y de 4 metros solamente de distancia focal, donativo de Miss Bruce; la relación que hay entre el diámetro de la lente y su foco demuestra que es muy rápida. En las noches del 16, 17 y 18 de agosto de 1898 se obtuvieron varias fotografías de Saturno, con exposiciones de cerca de dos horas; en las placas se registraron unas cien mil estrellas. Para buscar el satélite por medio de la fotografía, se colocaron dos placas unidas, con la gelatina ó superficie sensible en contacto una con otra; de esta suerte, cada estrella quedaba marcada por dos líneas; en las primeras placas examinadas se halló un punto aislado, visible también en las

posteriores, pero en distinta posición respecto de las estrellas, lo que se debía al movimiento propio de Saturno; y como las imágenes de los puntos habían caminado en la misma dirección, claro es que no podían atribuirse á defectos de las placas. Se trataba, pues, del descubrimiento de un noveno satélite de Saturno, llevado á cabo por Mr. Pickering. El nuevo cuerpo puede compararse, por su brillo, con una estrella de la 15.^a magnitud, con lo cual queda dicho que sólo es visible con los más poderosos telescopios. Efectúa su revolución alrededor del cuerpo primario en 17 meses próximamente, á una distancia de 963.000 leguas, siendo su diámetro de unas 60 leguas, aunque este último valor es todavía muy inseguro. Se le ha dado el nombre de Febea, que se presta á error, pues la Luna también se suele llamar así.

En el cuadro siguiente hemos reunido algunos de los datos más importantes sobre los satélites de Saturno.

| Núm. | Nombres | Distancias del planeta | En leguas | Revolución | Descubrimiento |
|------|----------|------------------------|-----------|--|----------------------------|
| 1 | Mimas | 3.3 | 47.200 | 0 ^d 22 ^h 37 ^m 27,9 ^s | Herschel, 17 septbre. 1789 |
| 2 | Encélado | 4.3 | 60.600 | 1 8 53 6,7 | Herschel, 28 agosto 1789 |
| 3 | Tetis | 5.3 | 75.115 | 1 21 18 25,7 | Cassini, marzo 1684 |
| 4 | Dione | 6.8 | 94.150 | 2 17 41 8,9 | Cassini, marzo 1684 |
| 5 | Rhea | 9.5 | 134.300 | 4 12 25 10,8 | Cassini, 23 dicbre. 1672 |
| 6 | Titán | 20.7 | 311.300 | 15 22 41 25,2 | Huyghens, 25 marzo 1655 |
| 7 | Hyperion | 26.8 | 376.500 | 21 7 7 40,8 | Bond, 19 septbre. 1848 |
| 8 | Jafet | 64.4 | 904.800 | 79 7 54 40,4 | Cassini, octubre 1671 |
| 9 | Febea | | 963.000 | 510 | Pickering 18 agosto 1898 |

La fig. 203 representa el sistema de las órbitas de los satélites saturninos, menos el noveno, con sus dimensiones relativas, proyectadas sobre el plano del ecuador del planeta. Estas órbitas son excéntricas, si bien su excentricidad no se conoce con gran exactitud, y como hemos visto, coinciden sus planos, con corta diferencia, con el plano del anillo y el ecuador de Saturno; la única excepción que hay que hacer es relativa á Jafet, pues este satélite forma con el plano de los apéndices anulares un ángulo de unos 12 grados; todos los demás, cuando el anillo se ve de canto desde la Tierra, parecen oscilar en torno de Saturno, según una línea recta, pasando por el borde anular como las cuentas de un collar. En esta fase pueden columbrarse con mayor facilidad los dos satélites internos, Mimas y Encélado, á causa de que no amortigua su escasa luz el deslumbrante resplandor del anillo.

La visibilidad de estos satélites sigue, puede decirse, el orden de su descubrimiento; con un antejo mediano se distinguen Titán y Jafet en la parte occidental de su órbita; con uno de 12 ó 15 centímetros de abertura es visible Rhea y tal vez, para un ojo educado, Tetis y Dione; con uno de 20 centímetros se puede observar Encélado, cuando se encuentre cerca de su máxima elongación; Mimas es visible únicamente cerca de la misma posición, y por último, Hyperion sólo se percibe con poderosos telescopios, lo cual depende de su escásima luz y de la dificultad de separarlo de las estrellas pequeñas que forman el

fondo del cielo, y Febea con sólo dos ó tres de los más potentes telescopios del mundo.

A pesar de estos inconvenientes, se ha podido evaluar el diámetro de Titán, que es el mayor de todos los satélites, y equivale á las dieciseisava parte del diámetro de Saturno, es decir, más de la mitad del diámetro terrestre, y casi igual al de Marte; así, pues, un planeta secundario de este mundo gigantesco y maravilloso supera en magnitud á cuerpos tan importantes como Mercurio y Marte; su volumen es próximamente como nueve veces el de la Luna.

El octavo satélite, Jafet, presenta la notable particularidad de que en unos puntos de su órbita es más brillante que ninguno de sus compañeros, si se exceptúa Titán, y en la parte opuesta es casi tan tenue como Hyperion, y sólo es posible columbrarlo con anteojos de gran potencia óptica; cuando se encuentra al Oeste del planeta es brillante, y débil en la región oriental.

Este fenómeno se explica suponiendo que el satélite presenta siempre la misma cara al cuerpo primario, y que un hemisferio sea blanco y el otro profundamente negro; la única dificultad que hallamos en esta explicación es que nos parece dudoso que exista un cuerpo dividido por mitad en dos zonas, clara la una y negrísima la otra.

Debido á la inclinación de los planos de las órbitas sobre el plano del movimiento de Saturno, son menos frecuentes los eclipses, pasos y ocultaciones de los satélites de este planeta, que de los satélites de Júpiter; los últimos giran casi en el mismo plano de la órbita jovial, y por lo tanto, siempre aparecen en una línea recta, que pasa por el centro del disco del planeta, ocurriendo los eclipses, pasos y ocultaciones á cada revolución, puede decirse. Por otra parte, los satélites saturninos se mueven en órbitas que, de ser visibles en toda su extensión, aparecerían como elipses, ya se observasen desde el centro del Sol, ora fuese la Tierra la estación elegida; únicamente cuando estas elipses vistas desde el centro del Sol sean ocultadas en parte por el disco de Saturno, podrán ocurrir eclipses de los satélites correspondientes; y cuando estas elipses vistas desde la Tierra sean ocultadas parcialmente, se verificarán pasos y ocultaciones de los satélites que pertenezcan á esas órbitas. Ahora bien: la distancia media del centro de Saturno á que gira el satélite Jafet es de unas 904.800 leguas, y en la escala de la lámina de color, esta distancia habría de representarse por una línea de 2,30 metros de largo: en consecuencia, si la órbita de este satélite fuese visible en toda su extensión, aparecería como una elipse cuyo eje mayor tendría 4 metros y 60 centímetros de longitud, y se comprende que la más pequeña elevación del punto de vista sobre el plano de la órbita haría que el eje menor de la elipse apareciese mayor que el diámetro aparente del disco de Saturno, para lo cual bastaría una inclinación de 58'. Luego únicamente cuando el plano de la órbita pasa á través del Sol ó á muy corta distancia, puede ser eclipsado este satélite; y una ocultación ó un paso tendrán lugar cuando el mismo plano pase por la Tierra ó muy cerca de ella. De otro lado, como el período de este satélite es de unos 79 días, encontrándose inmediato al disco de Saturno por brevísimo tiempo, á cada revolución, se disminuyen en gran manera las probabilidades de que se verifiquen estos pasos, ocultaciones y eclipses. Saturno puede pasar por los puntos de su órbita que permiten la realización de estos fenómenos, mientras

que el satélite se encuentra en su elongación oriental ú occidental, siendo necesario que transcurran catorce años antes que Saturno vuelva á encontrarse en una situación análoga para que puedan verificarse los eclipses, pasos y ocultaciones del satélite. Así, pues, estos fenómenos ocurren muy rara vez, y como además pueden tener lugar en pleno día ó en tiempo cubierto, no hay que extrañar que en el transcurso de varios siglos no sea visible desde la Tierra ninguna de estas afecciones.

Otro tanto puede decirse de los satélites Titán é Hyperion; este último es rara

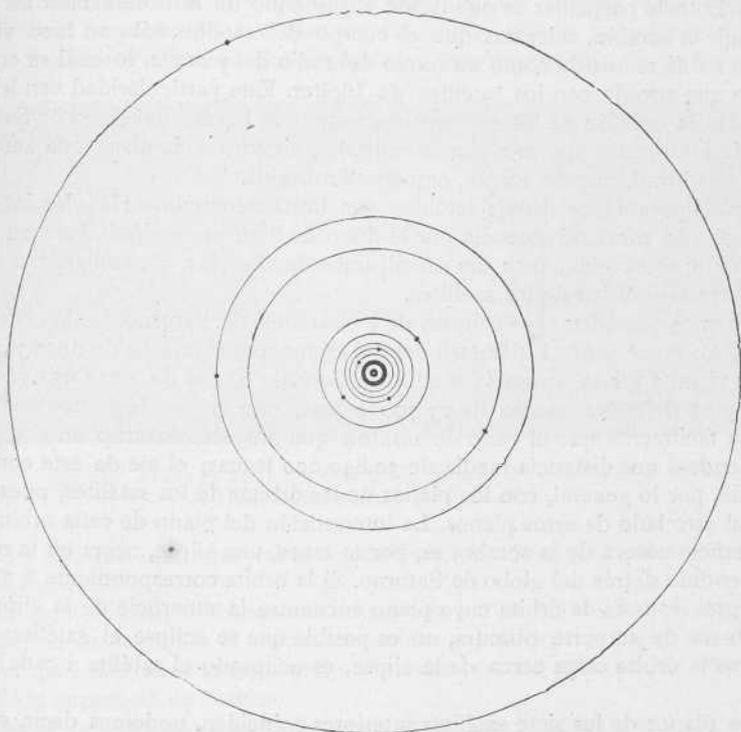


Fig. 203. — Órbitas de los satélites de Saturno

vez perceptible á causa de su escasísimo brillo; pero los eclipses, pasos y ocultaciones de Titán, aunque muy raros, se han observado en varias ocasiones.

La distancia media de Titán al centro de Saturno es de 311.300 leguas; en la escala de la lámina cromolitografiada referida, el eje mayor de la órbita de este satélite en caso de ser visible, en toda su extensión, mediría $1^m,52$. Mister Dawes observó un eclipse de Titán y el paso de su sombra por el disco saturnino, en los años de 1861 y 1862; en esa época el plano del anillo, que equivale al plano de la órbita de Titán, pasaba muy cerca del Sol y de la Tierra, en cuya posición únicamente son posibles los eclipses, ocultaciones y pasos de Titán.

En la misma época de la observación de Dawes, pudo Chacornac, asiduo astrónomo que era del Observatorio de París, percibir no sólo la sombra del satélite, sino el cuerpo mismo de éste, empleando un gran telescopio de espejo plateado, que en la actualidad se encuentra en el Observatorio de Marsella.

En la fig. 204 se reproduce el aspecto que presentaba el fenómeno, según lo dibujó el citado astrónomo; distínguese claramente el disco de Titán, que se destaca como un círculo más brillante que el fondo luminoso del planeta. La sombra y el satélite se encuentran tan próximos, que sus bordes parecen tangentes. Lo más particular es que desde el principio de la observación se pudo distinguir la sombra, mientras que el cuerpo del satélite sólo se hizo visible cuando había recorrido como un tercio del radio del planeta, lo cual es contrario á lo que sucede con los satélites de Júpiter. Esta particularidad vendría en apoyo de la opinión de los que sostienen que los bordes del disco de Saturno son más luminosos que las regiones centrales, circunstancia observada anteriormente por Bond, que no acepta, empero, Trouvelot.

Los eclipses de los demás satélites son bastante comunes; los dos internos pasan con la mayor frecuencia por el disco de Saturno, eclipsándose en igual proporción; estos fenómenos son difícilísimos de observar, sin embargo, á causa de la poca visibilidad de los satélites.

Podemos considerar los eclipses de los satélites de Saturno desde otro punto de vista; puesto que el diámetro del Sol es aproximadamente de unas 344.000 leguas, viene á ser la distancia media de Saturno al Sol de unas 351.700.000 leguas y su diámetro medio de 27.700 leguas, con cuyos elementos podemos calcular fácilmente que el cono de sombra que proyecta Saturno en el espacio se extiende á una distancia media de 30.840.000 leguas; el eje de este cono no coincide, por lo general, con los planos de las órbitas de los satélites, pues pasa á uno ú otro lado de estos planos. La intersección del plano de cada órbita con la superficie cónica de la sombra es, por lo tanto, una elipse, negra en la región comprendida detrás del globo de Saturno. Si la órbita correspondiente á una de las elipses, esto es, la órbita cuyo plano encuentre la superficie de la elipse, se halla fuera de su parte oscura, no es posible que se eclipse el satélite; pero mientras la órbita caiga cerca de la elipse, es eclipsado el satélite á cada revolución.

Los planos de los siete satélites interiores coinciden, podemos decir, con el plano del anillo, y las partes de las regiones oscuras de las elipses, en que el plano del anillo intersecta la sombra cónica, son de formas y dimensiones muy variables. Entre los numerosos eclipses de los diversos satélites en el curso de un año saturnino, pueden ocurrir algunos parciales, porque el satélite pase tan sólo en la proximidad de la sombra del planeta; este fenómeno, no obstante, es casi imposible de percibir por un observador terrestre, aun cuando se trate del satélite Titán.

También pudieran observarse ocultaciones y pasos de los siete satélites interiores por los anillos cuando el plano de éstos, prolongado, cortase la esfera terrestre. En esta época, como ya hemos referido, se distinguen los satélites como cuentas que pasasen por un hilo, que lo forma el canto del anillo, siendo parcialmente ocultados por él. Cuando el plano del anillo pasa por el centro del

Sol, presentan los satélites el mismo aspecto para un observador colocado en nuestro gran luminar, y deben, por lo tanto, aparecer en ciertas partes de sus órbitas eclipsados por el borde de los anillos; este fenómeno es muy difícil que pueda observarse desde la Tierra.

El penúltimo satélite, cuya órbita se encuentra inclinada sobre el plano del anillo, puede ser ocultado por éste, y también es posible que pase sobre él; sin embargo, estos fenómenos son mucho más raros que los eclipses y ocultaciones del satélite por el cuerpo del planeta.

Las condiciones físicas y fenómenos del globo de Saturno deben sufrir modificaciones importantes, causadas por los anillos que lo circundan, sirviendo para iluminar sus cortas noches de verano y para obscurecer los no más largos

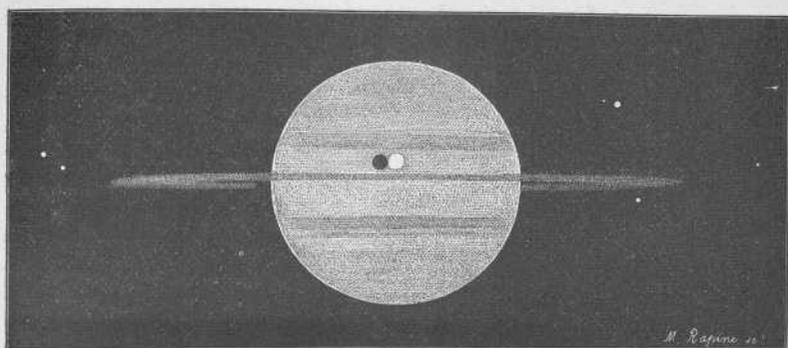


Fig. 204 - Paso de Titán por el disco de Saturno el 1.º de mayo de 1862, observación y dibujo de Chacornac

días del invierno saturnino; examinemos el carácter de estos efectos y su manera de producirse.

En primer lugar, sin hacer mención de las partes iluminadas, consideremos qué porciones del anillo se encuentran sobre el horizonte, y cuáles son los contornos aparentes de estas porciones en la esfera celeste para las diversas latitudes de la superficie de Saturno.

Desde ambos polos y hasta llegar al paralelo de 63 grados, son por completo invisibles los anillos, distinguiéndose únicamente los satélites sobre el horizonte. Desde esta latitud comienza á ser visible el sistema anular, pero sólo en las dos estaciones de primavera y verano, en que la cara de los anillos, vuelta hacia el hemisferio en que nos suponemos colocados, recibe los rayos del Sol é ilumina por reflexión las noches del planeta. Durante el día envían sus arcos una cantidad de luz muy débil, análoga probablemente, por su tono y esplendor, á la luz de la Luna cuando es visible en pleno día. La forma y extensión de los inmensos arcos luminosos varían, por otra parte, según la latitud; supongamos un observador situado en el polo boreal de Saturno; su cenit coincidirá con el polo boreal de la esfera celeste saturnina; su horizonte racional será el ecuador celeste, y se comprende, sin mayor esfuerzo, que en esta situación son invisibles los anillos, por ocultarlos la curva superficie del planeta.

Supongamos ahora que el observador camine á lo largo de un meridiano. El punto del horizonte hacia donde se dirija será el punto Sur, tan pronto como abandone el polo y el polo de la esfera celeste deje de ser el punto cenital; á medida que avanza en su camino, el punto Sur del horizonte cae cada vez más debajo del ecuador celeste, hasta que alcanza un lugar en que el borde externo del anillo se manifiesta precisamente en la intersección del meridiano con el horizonte; continuando su camino, se hacen visibles mayores porciones del anillo, apareciendo el borde externo como un arco en el horizonte meridional, y tan pronto como llegue á la latitud de $63^{\circ} 10' 32''$ percibirá el borde interno del

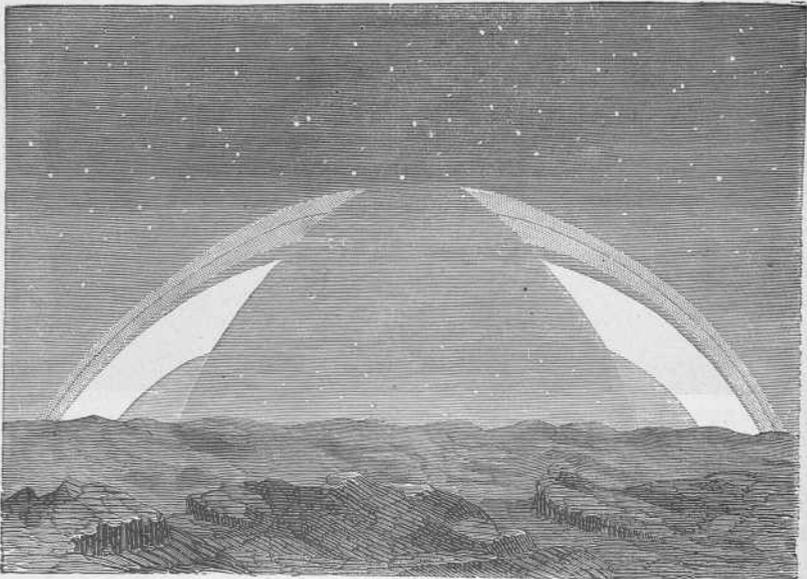


Fig. 205 — Vista de los anillos de Saturno para un habitante ideal situado en el planeta á una latitud de 28 grados

anillo exterior; poco después aparece el borde del anillo brillante, luego el anillo oscuro y, por último, el sistema completo, que gradualmente se extiende hacia el cenit y hacia los puntos Este y Oeste del horizonte; á medida que la elevación del vértice del anillo es mayor, disminuye la anchura de los apéndices, porque los rayos visuales toman una dirección oblicua; en el ecuador sólo se perciben por el canto interno, cuyo aspecto es el de una inmensa cinta luminosa que se extiende de Este á Oeste pasando por el cenit.

En la fig. 205, que representa una vista ideal, á media noche, de los anillos saturnales entre los equinoccios y los solsticios, se percibe el sistema anular que forma un arco inmenso cortado en el vértice por un gran vacío; el cielo se distingue á través de la estrecha ranura que separa los dos anillos principales, apareciendo también bajo el arco; en cuanto á la interrupción que presenta el anillo, se debe á la sombra que proyecta Saturno en el espacio, y sólo se distingue del

resto del cielo por la falta de estrellas. Puede ocurrir también que esta parte eclipsada de los anillos se haga visible algunas veces, por la refracción de los rayos solares, en la atmósfera del planeta; es posible que la banda eclipsada adquiera en los bordes de la sombra un tinte coloreado, análogo al que presenta nuestro satélite durante los eclipses totales.

En el paisaje que representa la fig. 206 se ve el anillo externo completo, pues estando tomado en la época de los solsticios, no llega la sombra de Saturno más que á los anillos internos.

Si suponemos que nuestro observador continúe caminando hacia el polo Sur,

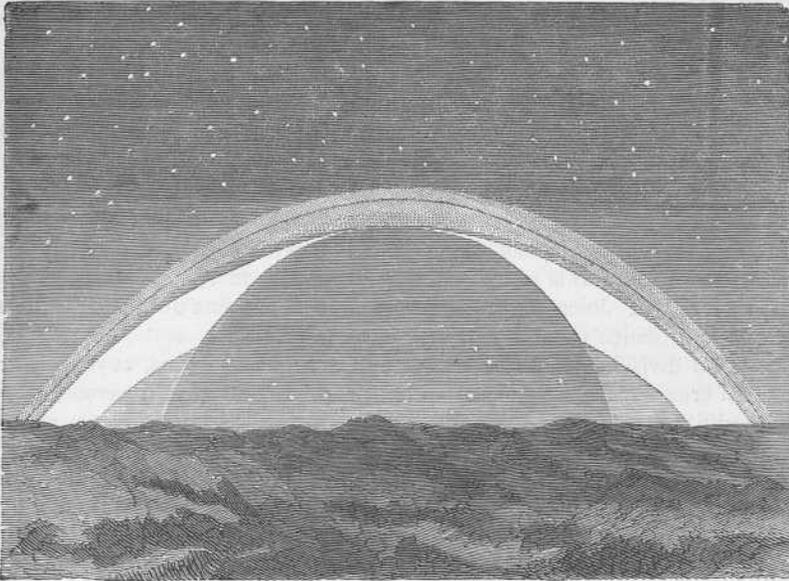


Fig. 206. — Vista de los anillos de Saturno para un habitante ideal situado en el planeta á una latitud de 28 grados

claro es que los anillos no se le presentarán de canto, como cuando se encontraba en el ecuador, sino que se proyectarán sobre el hemisferio celeste boreal, y desaparecerán en orden inverso de su aparición, continuando los mismos fenómenos sucesivos en la otra mitad del meridiano. Si Saturno fuese una esfera perfecta, sería fácil determinar la extensión de las zonas de su superficie, desde donde se percibirían los anillos, puesto que la superficie de la zona de una esfera es á la superficie de la esfera, como la distancia de los círculos terminadores de la zona es al diámetro de la esfera. En el caso de una esferoide prolongada, las zonas paralelas al ecuador ocupan una porción mayor que las de una esfera igual al diámetro ecuatorial de la esferoide.

Para que el lector pueda comprender más fácilmente la elevación y aspecto de los anillos de Saturno sobre el globo del planeta, vamos á suponer que nuestra Tierra estuviese rodeada por unos apéndices anulares semejantes. Tomemos,

por ejemplo, la latitud Norte de 40° que corresponde, próximamente, á las ciudades de Nueva-York, Madrid, Bokhara y Pekín; se deduce que, en esta latitud, el borde externo del anillo mayor corta el horizonte en dos puntos situados á $69^{\circ} 36'$ del Sur, y alcanza una altitud de 30° en el meridiano; del mismo modo el borde interno del propio anillo corta el horizonte á $65^{\circ} 57'$ al Oriente y al Occidente del Sur, alcanzando una altura meridiana de $26^{\circ} 11'$. De manera que el anillo externo cubre dos arcos de $3^{\circ} 39'$ en el horizonte, y de $3^{\circ} 49'$ en el meridiano; aunque ambos arcos son casi iguales, se ve, sin embargo, que la anchura aparente que ofrece la parte situada en el meridiano, es mucho mayor, pues en este punto es cortado el anillo perpendicularmente, y en el horizonte bajo un ángulo muy agudo, así que, en la apariencia, el ancho de la faja es mucho menor en el horizonte que en el meridiano.

Por lo tanto, en Saturno, á los 40° de latitud N., el anillo externo aparece como una zona que arranca en el horizonte (usaremos términos marinos) en el punto ESE. y termina en el OSO., alcanzando una altura meridiana de 30° ; el ancho de esta zona, que aumenta desde el horizonte al meridiano, es comparable, en este círculo, al diámetro aparente de la Luna.

Por igual procedimiento se demuestra que el anillo brillante interno nace como una zona mucho más ancha en los puntos SE. $\frac{1}{4}$ E., y termina en SO. $\frac{1}{4}$ O., alcanzando la parte superior una altura meridiana de $25^{\circ} 22'$ y la inferior de $12^{\circ} 22'$ únicamente, así que la anchura máxima de la zona es de 13° , ó más de veinticinco veces el diámetro de la Luna.

La gran división que hay entre los anillos forma una zona, cuya mayor anchura, al cruzar el meridiano, es inferior á $49'$, ó poco más ó menos, igual á tres semidiámetros lunares; el anillo oscuro ocupa casi todo el espacio que queda dentro del canto interno del anillo brillante; se apoya en el horizonte á $13^{\circ} 55'$ á cada lado del punto Sur, y alcanza en el meridiano una altura tan sólo de $46'$, así que únicamente queda descubierta una estrecha banda del cielo austral.

De aquí se deduce también que las estrellas que alcancen una altura meridiana inferior á la de los anillos, serán eclipsadas por éstos, excepto en un breve intervalo, cuando atraviesan la división que separa los apéndices; esto se refiere á los aros brillantes, pues á través del anillo oscuro pueden percibirse las estrellas, puesto que nosotros distinguimos el globo de Saturno.

Claro es que los anillos brillantes son visibles únicamente desde los puntos del hemisferio de Saturno que se encuentran de frente á la cara iluminada, pues en la región opuesta sólo es posible reconocer su existencia por los efectos que producen ocultando estrellas ú otros cuerpos celestes, cuyos arcos sobre el horizonte pasan completamente, ó en parte, por detrás de los anillos. Estos pueden también reflejar la débil luz que reciban de los satélites de Saturno.

El anillo oscuro será visible probablemente en ambos hemisferios, puesto que los cuerpos que lo forman podrán percibirse individualmente desde la superficie del planeta; durante el día son invisibles los anillos brillantes, ó cuando más, se percibirán, según dijimos, como la Luna en idénticas condiciones.

Pudiera suponerse, á primera vista, que estando estos anillos formados de satélites pequeñísimos, habrían de ser visibles individualmente; y en diversos

puntos de su revolución alrededor del planeta, exhibir fases como nuestra Luna, y que en aquellas partes del anillo en que los satélites están llenos ó casi llenos deben presentar al planeta una superficie mucho más iluminada que cuando son nuevos ó casi nuevos.

Un ligero examen nos convencerá de que esto no es así.

El aspecto del sistema demuestra que los satélites que lo componen deben ser numerosísimos y estar estrechamente unidos; de modo que los eclipses y ocultaciones entre los mismos satélites compensan el efecto que pudieran producir sus fases, y la cuestión de la iluminación ha de considerarse del mismo modo que si los anillos fuesen cuerpos sólidos; ahora bien, el brillo de una superficie iluminada fuera de la atmósfera terrestre, no varía con la distancia del observador, ni con el ángulo visual desde donde se observe; estas circunstancias modifican la magnitud aparente del objeto, y, en igual proporción, la suma total de luz recibida por el observador; pero el brillo intrínseco del objeto permanece invariable. El brillo aparente de una superficie iluminada varía, sin embargo, con el ángulo que forma el cuerpo iluminado sobre la superficie que se considere; de aquí que el brillo aparente de los aros en cada instante es igual en toda su extensión visible y desde cualquier parte del hemisferio de donde pueda distinguirse su cara iluminada; pero este brillo varía con los cambios de declinación del Sol, aumentando gradualmente del equinoccio vernal al solsticio de verano y decreciendo desde esta época hasta el equinoccio de otoño.

Entre el equinoccio vernal y el solsticio de verano, en ambos hemisferios, toma sucesivamente la sombra del planeta sobre los anillos diversas formas; en el equinoccio vernal son sus bordes rectos y paralelos; en el solsticio de verano, el contorno de la sombra es parte de una elipse, cuyo eje mayor, por su extremo, aparece entre el borde externo de los anillos; en todos los casos intermedios, los contornos de la sombra son partes de una elipse de excentricidad considerable. El intervalo de tiempo en que cambia la sombra de la forma indicada primero á la siguiente, es de cerca de 384 días; es fácil determinar de qué manera se proyecta la inmensa sombra del planeta sobre la porción iluminada de los anillos. Al orto y en la época de los equinoccios, se iluminan los anillos en toda su extensión visible y en todas latitudes; cerca del ecuador, sale la sombra del planeta por el Este, tan pronto como el Sol se pone, eclipsando en seguida el anillo en todo su ancho cerca del horizonte; en latitudes más elevadas, sale la sombra más tarde, eclipsando primero el borde externo del anillo. También produce su efecto la curvatura de la sombra en el año saturnino; el paralelo de latitud, dentro del cual comienza el eclipse á lo largo del borde interno de los anillos, pasa cada vez más elevado, hasta que comprende todas las latitudes desde donde aquéllos pueden ser visibles.

Cerca del solsticio de verano, el borde externo del anillo exterior deja de ser eclipsado. La sombra decrece también gradualmente, hasta que llega la mitad del verano; pero como las noches principian á acortar cada vez más, y en las latitudes elevadas tiene lugar este cambio con velocidad superior á la que obtiene la sombra en su orto, sucede que, en aquellos parajes, grandes regiones del anillo se encuentran ya en la sombra cuando el Sol se pone.

En todas latitudes y estaciones, la línea central de la sombra corta el meri-

diano á media noche. A esta hora, una parte muy pequeña del anillo es visible, aun desde puntos situados cerca del ecuador, en las inmediaciones de ambos equinoccios; pero durante casi tres años, en la proximidad del solsticio de verano, deja de ser eclipsado el borde externo del anillo á media noche. En esta época, debe presentar el sistema un aspecto magnífico, como un arco doble de luz, mordido por una sombra elíptica de dimensiones colosales.

Debido á la refracción de la atmósfera de Saturno, ha de presentar el contorno de la sombra una penumbra rojiza, cuya extensión no es fácil calcular, porque desconocemos la potencia refractora de la atmósfera saturnina. La línea central de la sombra se extiende uniformemente alrededor de los anillos, desapareciendo en el Oeste antes ó después de la salida del Sol, del propio modo que en todas las estaciones y latitudes apareció en la región oriental. Los cambios que tienen lugar desde el equinoccio vernal hasta el solsticio de verano, se repiten en orden inverso desde esta última estación hasta el equinoccio de otoño.

En el ecuador de Saturno puede el Sol ser eclipsado, parcial ó totalmente, durante varios días, pero sus períodos aumentan con rapidez en razón de la latitud; así, pues, en el paralelo de 40° empiezan los eclipses cuando han transcurrido tres años desde la época del equinoccio autumnal. Los eclipses de mañana y tarde continúan durante un año y más, extendiéndose gradualmente hasta que el Sol es eclipsado todo el día. En esta latitud duran los eclipses totales hasta el solsticio de invierno, y un período de tiempo correspondiente al anterior después de esta estación; en todo, 6 años 236 días y 4 décimos, ó 5.543 días saturnales. A este período sigue un intervalo, de más de un año también, de eclipses matutinos y vespertinos; el período total en que puedan verificarse las dos clases de eclipses que hemos mencionado, comprende nada menos que 8 años y 292,8 días. Del mismo modo se podrían determinar los eclipses correspondientes á otras zonas.

Si recordamos que la latitud de 40° en Saturno corresponde á la latitud de Madrid en nuestro globo, se observará cuán grande debe ser el influjo que ejercen los anillos saturninos sobre las condiciones de habitabilidad del planeta, con referencia á las necesidades de seres constituídos de la propia manera que los que pueblan el mundo sublunar.

Los demás cuerpos celestes, cuyas declinaciones son variables, como los planetas y el satélite externo, experimentan una serie de eclipses análogos cuyas magnitud y duración varían con la declinación del objeto. Por esto, el penúltimo satélite, cuya declinación nunca pasa de 15° al Norte ó al Sur del ecuador celeste de Saturno, puede ser eclipsado totalmente todo el tiempo que permanezca sobre el horizonte, en latitudes únicamente inferiores á 25° Norte ó Sur.

De los astros que componen el cortejo solar, sólo pueden distinguir los habitantes de Saturno á los planetas Júpiter y Urano.

El primero aparece como un planeta inferior, y sus fases se asemejan á las de Venus, vistas desde la Tierra; aunque Júpiter se aproxima tanto á Saturno en la época de su conjunción como á la Tierra en su oposición, es en el primer caso invisible para los saturninos, porque sale y se pone con el Sol. Como en las demás configuraciones, se encuentra Júpiter á mayor distancia de Saturno que de la Tierra en su oposición, y como más adelante tan sólo una parte de su super-

ficie iluminada se dirige hacia los saturninos, jamás puede presentar un aspecto, ni aun aproximado al que ofrece á los terrícolas.

Su revolución sinódica respecto de Saturno es de 7.253 días.

Urano es un planeta superior ó externo á Saturno y debe ser distintamente visible al encontrarse en su oposición, pues en este caso, tan sólo se halla separado de Saturno por una distancia equivalente á la mitad de la que hay de la Tierra á Urano, cuando éste se encuentra también en oposición; pero antes de alcanzar su cuadratura, debe hacerse invisible á los saturninos, si es que los su-

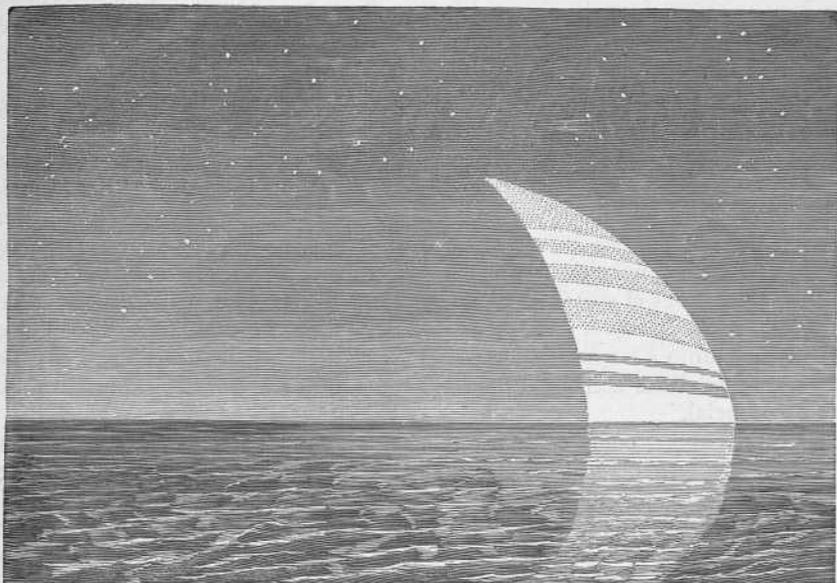


Fig. 207. — Vista ideal de una fase de Saturno, tomada desde un punto de la superficie de los anillos

ponemos dotados de una vista semejante á la nuestra. La revolución sinódica de Urano respecto de Saturno es de 16.568 días.

Ahora que hemos estudiado el aspecto que el cielo debe presentar para los habitantes de Saturno, podrá apreciar el lector más fácilmente los efectos que representan los grabados que insertamos en esta página y anteriores, que se refieren al espectáculo que contemplaría un observador situado en los anillos. A menos de suponerlo sobre el mismo canto, percibiría una larga noche de quince años, tras un período de día de igual duración; esta interminable noche se encuentra en parte compensada por la luz que envía el hemisferio iluminado de Saturno, ó al menos la parte visible desde el anillo. Primero se percibe un punto luminoso en el horizonte, que crece de un modo gradual, adquiriendo la forma de media luna (*fig. 207*), pero de menos curvatura que nuestro satélite. Al cabo de cinco horas y cuarto, llega á ser casi un semicírculo que abraza la octava parte

de toda la bóveda celeste y cuya superficie es, por lo tanto, unas veinte mil veces mayor que la del disco lunar aparente; en este disco puede percibirse una zona oscura dividida por una línea luminosa, que se debe á la proyección de la sombra de los anillos sobre el planeta. Las otras bandas brillantes y oscuras, y sin duda muchos más detalles físicos que nosotros no podemos distinguir á la enorme distancia á que nos encontramos de Saturno, separan las diversas partes de su inmenso disco.

Mientras á mayor distancia se encuentre el observador del anillo interno, más considerable es la parte visible del planeta; pero sus dimensiones aparentes disminuyen, por el contrario, en igual proporción, sin dejar por esto de ser muy importantes. La fig. 207 da una idea del aspecto de Saturno, visto desde un punto de la superficie de los anillos.

En esta vista ideal, como en las dos precedentes, se ha dado al suelo de Saturno y al de los anillos una estructura imaginaria.

No hay que dudar que si la superficie del planeta es sólida, se hallará surcada por infinitas asperezas; pero como en este punto las observaciones son de muy escasa confianza, cada uno puede seguir la teoría que le parezca más acertada. El astrónomo que dibujó los grabados supone que el suelo de los anillos es líquido, y aunque es cierto que esta hipótesis se ha emitido, ya vimos en las páginas anteriores el escaso valor que presenta. También supone en sus paisajes una atmósfera análoga á la terrestre, lo cual es muy verosímil, pero al fin hipotético; en cuanto á las formas aparentes de los anillos y de las fases del planeta, están representadas con toda exactitud, pues esto era, por decirlo así, el único punto esencial.

Veamos ahora, como en los capítulos anteriores, los efectos más notables que observaría un terrícola transportado á los demás planetas del sistema; el primero sería, como ya hemos indicado, la disminución ó aumento que sufriría su propio peso. Si fuese transportado á Júpiter, observaría que su peso aumentaba en otro tanto más y que apenas podría moverse sin trabajo y grandes dificultades; si se transfiriese á Marte ó á Mercurio, notaría que su peso disminuía en más de una mitad, y que su actividad y fuerza muscular aparente aumentaban en la misma proporción. Suponiendo que el viaje tuviese lugar á la superficie de Saturno, la variación de su peso dependería de la latitud del lugar que escogiese como residencia; debido el aplanamiento del globo de Saturno á su gigantesco tamaño y á su rápido movimiento de rotación, varía la fuerza de gravedad con la latitud de un modo mucho más marcado que en la Tierra. Si no girase Saturno, el peso de 1 kilogramo terrestre sería de 1,190 gramos en el polo y de 1,170 gramos en su ecuador; pero la fuerza centrífuga en la línea equinoccial de Saturno es próximamente 0.164, lo cual hace que disminuya la gravedad en mayor proporción; con esto se quiere decir que una masa que pesase 1 kilogramo en la Tierra y girase alrededor de un centro, con la misma velocidad y á la misma distancia que se hallan los puntos del ecuador de Saturno respecto de su centro, necesitaría, para conservarse en su órbita, una fuerza suficiente para equilibrar un peso de 164 gramos. Así, pues, un hombre que pesase en la Tierra 65 kilogramos, aumentaría en el ecuador de Saturno algunos hectogramos solamente, y en el polo, algo más de 10 kilogramos. La diferencia de peso, en el primer caso, es apenas

apreciable; en el segundo se conocería como una pesada carga adicional, si bien su efecto sería en parte disminuído por un equilibrio perfecto, puesto que se hallaría el peso repartido de un modo uniforme por todo el cuerpo. Un habitante de Saturno vería aumentar su propio peso en igual proporción, si se transportase del ecuador del planeta á cualquiera de los polos.

Se considera que el aspecto de la superficie de este planeta difiere grandemente del que presenta la costra del globo terráqueo, y esto por dos razones principales. En primer lugar, siendo su densidad tan pequeña, debe estar formado de substancias mucho más ligeras que las que componen la envoltura sólida de la Tierra; y en segundo lugar, que los fluidos de su superficie deben ser también menos densos que el planeta, y por lo tanto, muy distintos de nuestros océanos.

Las condiciones climatológicas de la superficie saturnina difieren, sin duda alguna, y en gran manera, de las que exhibe la Tierra; podemos considerar tres puntos principales, de los cuales dependen aquellas condiciones. La distancia de Saturno al Sol; la inclinación del eje sobre el plano de la órbita, y la duración respectiva del día y del año saturnino.

Hemos visto que la distancia media de Saturno al Sol es superior en unas $9\frac{1}{2}$ veces á la distancia media que separa á la Tierra del mismo lumínar. Por manera que el diámetro del disco solar aparece á los saturninos menor que á nosotros en la proporción de 2 es á 19, al paso que la superficie aparente del disco, que varía en razón del cuadrado del semidiámetro aparente, se observará disminuída, poco más ó menos, en $\frac{1}{90}$ parte de la superficie aparente del disco visible para nosotros.

La cantidad de luz y calor recibida en cualquier punto de la superficie de Saturno es, por lo tanto, la nonagésima parte de la cantidad que recibe una porción de igual tamaño de la superficie terrestre que presente la misma inclinación á los rayos solares. En una palabra, á pesar de la inmensidad del globo de Saturno, la totalidad de luz y calor que recibe, cuando se encuentra á su distancia media del Sol, es considerablemente menor que la cantidad de luz y calor que, en análogas condiciones, recibe nuestro globo. Sin embargo, no se deduce de aquí necesariamente que el clima de Saturno deba ser tan frío y mortífero como sería el de nuestra Tierra, si por acaso sólo conservase ésta una tan mínima cantidad de calor solar, pues aparte de la consideración de que el clima de cualquier planeta puede depender en alto grado de su calor interno, no hay duda de que la cantidad de atmósfera que contenga y su densidad ejercen un influjo importante en las condiciones climatológicas que reinan en la superficie.

Si la atmósfera terrestre se encontrase sometida de repente á un cambio tal que el calor radiado por la Tierra pasase á través del aire con tanta libertad como el calor directo del Sol, dejaría nuestro planeta de ser habitable por individuos de la raza humana y de otras muchas especies animales.

Es muy probable, casi seguro, que Saturno está dotado de una atmósfera de grandes dimensiones, y por lo tanto densísima, al menos cerca de la superficie del planeta, lo cual se deduce del aspecto que presenta su disco en los telescopios poderosos, y también de sus vastas dimensiones absolutas; esta atmósfera

puede, por supuesto, no tener influjo alguno sobre la cantidad de calor recibida en cualquier parte de la superficie de Saturno, ó más bien tender á disminuirla; pero, evitando la irradiación, sirve para conservar una temperatura media tan elevada como la temperatura media de nuestro globo, y aun quizás mayor.

Hopkins ha calculado que si la atmósfera terrestre se elevase hasta una altura de 12.200 metros, podría conservar nuestro globo su temperatura actual, expuesto únicamente á la irradiación del espacio, con ausencia total del Sol. Este resultado, sin embargo, dista mucho de hallarse satisfactoriamente establecido.

A pesar de la considerable magnitud de la atmósfera de Saturno, la cantidad total de luz que recibe el planeta no sufre por esta causa el menor incremento, excepto en la escasa cantidad que refringe hacia la superficie, alargando en consecuencia la duración de los crepúsculos. Que la superficie de Saturno se encuentra poderosamente iluminada, se deduce del extraordinario brillo de su disco, y si bien es menos luciente que los de los demás planetas cercanos al Sol, no se nota la obscuridad y palidez que debiera aguardarse de la disminución que hemos visto que sufre la luz solar, hasta quedar reducida á una fracción pequesimísima de la luz que recibe el globo terrestre.

Se ha calculado, no obstante, que, aun con esta disminución, le envía el Sol 560 veces más luz que la Luna en su pleno manda á nuestro planeta, cálculo confirmado por las pequeñas pérdidas de luz en los eclipses parciales de Sol. No hay, pues, motivos bastantes para suponer que la cantidad de luz que recibe Saturno sea insuficiente para mantener y conservar muchas de las formas de vida que tenemos en la Tierra.

El año de Saturno, como dijimos antes, consta de 29 años y medio terrestres, que son, poco mas ó menos, 10.759 ¹/₄ días de los nuestros. El contraste que existe entre el año saturnino y el terrestre es más notable, por la escasa duración de su día, que sólo se compone de 10 horas y media, tiempo que emplea el planeta en dar una vuelta sobre su eje. El año trópico de Saturno se compone, pues, de 24.618 días y medio saturninos; el año sidéreo contiene 24.620 días y medio, saturninos también; pero debido á un pequeño movimiento de precesión de los puntos equinociales, es algo más corto de lo que indicamos.

El efecto más notable que produce la rápida rotación de Saturno sobre su eje es la extraordinaria velocidad aparente de los cuerpos celestes.

El movimiento diurno del Sol, visto desde la Tierra, varía con la posición que ocupa el mismo astro en la eclíptica; en los equinoccios, cuando es mayor el movimiento, recorre el Sol un grado en 4 minutos de tiempo, ó un espacio igual á su diámetro aparente, en 2 minutos. Visto desde Saturno, en la época de sus equinoccios, recorre el Sol un grado en 1 ³/₄ minutos de tiempo, ó un espacio igual á su propio diámetro aparente, en unos 6 segundos.

Es probable que el mundo animal y vegetal de Saturno, si existe, sea en general muy distinto del que contemplamos en la superficie de la Tierra; cerca del ecuador saturnino tienen lugar dos veranos en cada año del planeta, siendo muy poco marcados los cambios de estaciones; en esta región, pues con preferencia á toda otra, es donde sería posible que existiesen razas parecidas á las que pueblan la Tierra; el rigor de los inviernos saturninos, en las zonas correspondientes

á nuestras zonas templadas, se acrece por los frecuentes eclipses de la luz solar, originados por la interposición de los anillos, mientras que en las inmediaciones del ecuador tienen lugar los eclipses cerca de los equinoccios, y son, comparativamente, de escasa duración.

La órbita de Saturno es más excéntrica que la de la Tierra, y por consecuencia, la luz y el calor recibidos por Saturno varían de un modo más marcado que en nuestro globo; á su distancia media y en su afelio se representan respectivamente por 46, 41 y 37.

Como nuestra Tierra, pasa Saturno por su perihelio, cerca del solsticio de verano en el hemisferio austral, y por su afelio, cerca del solsticio de verano en su hemisferio boreal; pero el verano en este último hemisferio dura casi diez y seis años, y el del hemisferio opuesto algo menos de catorce; esta diferencia de tiempo compensa exactamente la diferencia de distancias en lo relativo á la cantidad total de luz y de calor que recibe el planeta en ambos intervalos, si bien esta disposición tiende á igualar las estaciones del hemisferio septentrional y á acentuar en mayor grado las diferencias que presenta con el hemisferio austral.

Hemos visto en las páginas anteriores que si bien la excentricidad de la órbita de Saturno es muy perceptible, su eje menor es casi igual al mayor, y por lo tanto, la cantidad de calor y de luz recibida por Saturno es muy poco mayor de lo que sería si el planeta girase en una órbita circular á una distancia del Sol igual á su distancia media actual. De las condiciones eléctricas de Saturno y los demás planetas es muy poco lo que conocemos; ya vimos en el libro primero del Sol, que algunos astrónomos establecían cierta relación y concomitancia entre las variaciones magnéticas, las manchas solares y las posiciones respectivas de los planetas.

Del examen que hemos hecho de las condiciones físicas y fenómenos particulares del planeta Saturno, no parece resultar que la superficie de este astro sea adecuada para servir de residencia á seres de constitución análoga á los habitantes de la Tierra; la diferencia en la fuerza de gravedad, la longitud del año saturnino y los continuados eclipses de Sol, causados por los anillos, son los argumentos que parecen militar con mayor peso contra esta suposición. En una zona próxima al ecuador de Saturno, sin embargo, es menos considerable el influjo de estos fenómenos, y no sería imposible que, por circunstancias particulares de que no podemos tener idea, fuese habitable esta región, pues como dice Herschel, las combinaciones que en nuestro sentir sólo aparecen como imágenes de horror y desolación, pudieran ser, en realidad, teatro de las más extraordinarias manifestaciones de la vida.

Sobre la habitabilidad de los aros que circulan alrededor de Saturno no sabemos nada, y aun carecemos de medios adecuados para formarnos una opinión algo razonable sobre este punto; á juzgar por la analogía que ofrecen con la Luna, hay que considerar que estos apéndices están desiertos.

CAPITULO X

URANO

Descubrimiento de Urano. — Sus dimensiones y movimientos. — Su constitución física.
Los satélites de Urano

Fué descubierto este planeta por Herschel en la noche del 13 de marzo de 1781, mientras ejecutaba un catastro completo del cielo, examinando todas las estrellas visibles en su gran telescopio; notando, por las dimensiones de su disco, que no era una estrella, y por su movimiento propio, que no podía confundirse con una nebulosa, creyó al principio que había tropezado con un cometa, pues no se le ocurrió que el cuerpo encontrado fuera un nuevo satélite del Sol; en consecuencia, comunicó su descubrimiento á la Real Sociedad, anunciando que había hallado un nuevo cometa.

Intentaron varios astrónomos calcular la órbita del nuevo cuerpo celeste, apoyándose en las observaciones de Herschel y otros, y en la inteligencia de que este cometa, como sus congéneres, describiría una órbita parabólica; pero el movimiento del cuerpo se apartaba constantemente de la órbita calculada, y fué necesario proceder á una revisión completa de las fórmulas; al cabo de algunas semanas se vió que si su movimiento era parabólico, su distancia mínima al Sol debía ser, cuando menos, catorce veces superior á la que hay de la Tierra al mismo lumínar, cuya distancia perihelia era muy superior á la de todos los cometas conocidos. En vista de esto, se recurrió á otra hipótesis, hallando que todas las observaciones podían representarse con completa exactitud, si se admitía que el nuevo cuerpo se moviese en una órbita circular cuyo radio fuese diez y nueve veces mayor que el radio medio de la órbita terrestre.

El cuerpo recién descubierto era, pues, un planeta que giraba alrededor del Sol, á una distancia doble de la de Saturno.

Agradecido Herschel á las mercedes y recursos que le prodigaba su protector el rey de Inglaterra, propuso que el nuevo planeta se llamase *Georgium Sidus*, la estrella de Jorge; la contracción de este nombre, esto es, el Georgino, se usó en Inglaterra hasta 1850, pero en el continente nunca se conoció por esta denominación. Lalande creía que lo más conveniente era dar al planeta el nombre de su descubridor, y por lo tanto, propuso que se le llamase Herschel; pero esta idea tampoco tuvo acogida; Prosperin indicó Neptuno como el más apropiado, apoyando su pretensión en que de esta suerte se encontraría Saturno entre sus dos hijos, Júpiter y Neptuno. Lichtenberg propuso á Astrea, la diosa de la Justicia, para que presidiese desde los confines de nuestro sistema. Poinset pensó que, así como Júpiter y Saturno, padres de los dioses, se encuentran conmemorados astronómicamente, sería una falta de atención excluir por más tiem-

po á la madre, Cibeles. Ultimamente propuso Bode el nombre de Urano, fundándose en que el cuerpo más distante de nuestro sistema debe llamarse como el más antiguo de los dioses. Esta razón es de poca fuerza, hoy día que conocemos un planeta externo á Urano.

Después que se determinó con toda exactitud la órbita elíptica del planeta y se trazó su curso en los cielos, se vino en conocimiento de que este cuerpo había sido observado varias veces, creyéndolo una estrella, sin que ningún astrónomo hubiese sospechado su naturaleza planetaria; pasaba á través del campo de sus telescopios, y anotaban la hora de su paso por el meridiano, ó su declinación, ó ambos fenómenos, y apuntaban estos elementos en sus cuadernos de observaciones, como si se tratase de una estrella no catalogada, perteneciente á la constelación en que por aquel entonces se hallaba. De esta manera fué vista cinco veces por Flamsteed, remontándose la primera observación al 13 de diciembre de 1690; siguen luego las del 28 de marzo de 1712; febrero 21 y 27 de 1715 y abril 18 del mismo año. La primera observación de Flamsteed es anterior á la de Herschel en un siglo casi. Bradley observó á Urano, sin saberlo tampoco, el 21 de octubre de 1748, el 13 de septiembre de 1750 y el 3 de diciembre de 1753. Fué observado por Mayer el 25 de septiembre de 1756 y por Le Monnier nada menos que 12 veces, en octubre 14 y diciembre 3 de 1750, en enero 15 de 1764, en diciembre 27 y 30 de 1768, en enero 15, 16, 20, 21, 22 y 23 de 1769 y en diciembre 18 de 1771.

Si Le Monnier hubiese sido un hombre ordenado y metódico, no hay duda de que se hubiera anticipado al descubrimiento de Herschel, quien de haber dirigido su telescopio á la constelación de Géminis once días antes, esto es, el 2 de marzo en vez del 13, no hubiera percibido el movimiento de Urano, pues el día 2 estaba este planeta estacionario. Era tal el desarreglo de Le Monnier, que Arago refiere que en una ocasión le enseñó Bouvard una observación del planeta, hecha por aquel astrónomo y anotada en un saquito de papel de polvos para la peluca, comprado en casa de un perfumista. Si este astrónomo se hubiese tomado el trabajo de reducir y comparar sus observaciones, se habría anticipado á Herschel, como hemos dicho, en doce años. Verdaderamente, al considerar con cuánta facilidad se ve el planeta á la simple vista, se comprende que los antiguos astrónomos formaban sus catálogos de estrellas con gran descuido, aunque habían de servirles, no obstante, para todas sus observaciones.

Las antiguas posiciones del planeta han sido, sin embargo, de grandísima utilidad para los calculadores, porque con ellas se han podido determinar los elementos de la órbita de Urano con mayor precisión que si se hubieran valido exclusivamente de las observaciones modernas.

Brilla Urano como una estrella de sexta magnitud, por manera que, conociendo con anterioridad la posición que ocupa en el cielo, puede distinguirse á la simple vista. Con unos simples gemelos de teatro, sólo es posible distinguirlo como una estrella de escaso resplandor, y para reconocer su disco circular hay que hacer uso de un antejo bastante poderoso que aumente, cuando menos, unas cien veces.

Urano gira en torno del Sol en 30.686 días y 7 décimos, que vienen á ser unos 84 años, á una distancia media de 706 millones de leguas; la excentricidad

de su órbita, cuyo valor es de 0,04634, algo menor que la de Júpiter, hace que esta distancia oscile entre 738 millones de leguas, que es su máximo, y 672 millones, que es su mínimo; como vemos, la diferencia entre sus distancias extremas al Sol, ó sea entre el afelio y el perihelio, llega á 66 millones de leguas. Sus distancias á la Tierra presentan variaciones más marcadas aún, siendo la más pequeña cuando ambos astros se encuentran á un mismo lado del Sol, y mayor cuando el cuerpo central se halla entre los dos planetas, pues en este caso, al radio de la órbita de Urano hay que sumar el de la órbita terrestre. En el primer caso, es decir, cuando Urano está en oposición, dista de la Tierra unos 640 millones de leguas, distancia que puede elevarse en las conjunciones á 775 millones. A pesar de la diferencia que presentan estos números, varía muy poco su diámetro aparente, que es de unos $4''{,}3$ (fig. 208); su diámetro real mide unas 14.000 leguas según se deduce de la distancia y de las dimensiones aparentes del planeta; su volumen es 69 veces y cuarto mayor que el de la Tierra (fig. 209).

El disco del Sol, visto desde Urano, es mucho más pequeño que el que nosotros contemplamos, en la proporción de 390 á 1, y en igual relación se encuentran disminuídos el calor y la luz del astro central; se ha calculado que la



Fig. 208. — Variaciones del diámetro aparente de Urano á sus distancias extremas y media de la Tierra.

cantidad de luz solar que recibe este planeta es comparable á la que emitirían 300 lunas llenas, y tan pequeño aparece el Sol sobre su horizonte, que sólo brilla como una estrella de esplendor extraordinario, pero sin dimensiones sensibles.

El globo de Urano presenta una pequeña elipticidad; Herschel creía que el

diámetro polar era algo más pequeño que el ecuatorial, y Maedler afirmó que el aplanamiento del planeta era igual á $\frac{1}{10}$. Schiaparelli, en 1883, llevó á cabo una larga serie de medidas, de las que obtuvo como valor de la elipticidad ó achataamiento $\frac{1}{11}$, siendo el diámetro ecuatorial á la distancia media de $3''{,}9$. Por la misma época se ocupaba del asunto Mr. Young, del Observatorio de Princeton, (Estados Unidos), el cual, con el antejo de 58 centímetros, determinó que la relación entre los diámetros ecuatorial y polar era de $\frac{1}{14}$. Las últimas observaciones efectuadas se deben á Mr. Barnard; en 1894 y 1895 midió con el gran antejo del Observatorio de Mount Hamilton, de 36 pulgadas de diámetro, los diámetros de Urano, fijando el polar en $3''{,}93$, y el ecuatorial en $4''{,}15$, de modo que la elipticidad es evidente y considerable, y por lo tanto, el movimiento de rotación rapidísimo. Estos resultados han sido comprobados por Mr. See, empleando los modificadores líquidos de que dimos cuenta al hablar de Venus y la gran ecuatorial del Observatorio de Washington.

Durante mucho tiempo se creyó que Urano no presentaba en los telescopios poderosos de la época de Herschel sino el aspecto de un disco uniforme, sin bandas ni manchas de ninguna especie. Sin embargo, Lassell y Buffham creyeron observar algunos indicios como de una banda ecuatorial y diferencias notables en la intensidad luminosa de la superficie; según este último astrónomo, Urano gira sobre su eje en unas 12 horas, en sentido directo y con una inclinación de unos 80° sobre el plano de su órbita. Pero hay que venir á la época

moderna, para tener algunas ideas algo menos confusas sobre el aspecto que presenta este remoto cuerpo del sistema solar.

Está fuera de toda duda que el disco de Urano se halla cruzado por dos bandas grises, rectas y paralelas, colocadas simétricamente, respecto del centro, inclinadas unos 20° sobre el plano de las órbitas de los satélites, en el supuesto de que el ecuador del planeta esté en la misma dirección que las bandas. Su aspecto no es siempre idéntico, y M. Perrotin observó en Niza en 1889 que variaban en número y tamaño, en diversas partes de la superficie, de lo cual deduce el ilustre astrónomo que no tardaría mucho tiempo en que fuera posible determinar el período de rotación del planeta, que en realidad se desconoce. Las órbitas de los satélites, según Barnard, se desvían unos 20° ó 30° del plano ecuatorial del eje mayor del disco.

Supuso Herschel que si se prolongase el eje de rotación de Urano, el que repetimos que no se conoce, llegarían á tocar sus extremos en la órbita misma del

planeta, y en consecuencia, habría de girar el Sol en forma espiral á su alrededor, por manera que ambos polos, en ocasiones, tienen en su cenit á este lumínar. Si la inclinación de 80° es exacta, cosa que se ignora en absoluto, los habitantes de Urano verán al Sol describir arcos de esta magnitud, á cada lado de su ecuador celeste, durante el largo invierno del planeta. Al hablar de las estaciones de Venus, tropezamos también con una particularidad de esta misma especie; pero en Urano son aún más pronunciados sus efectos, y tan sólo tenemos que considerar cuál sería el resultado de estas excursiones

solares en nuestra Tierra para territorios situados en la zona templada, en la latitud de Madrid, por ejemplo, para comprender los cambios importantes que sufrirían las relaciones climatológicas de un planeta como Urano, que invierte 84 años en dar una vuelta alrededor del Sol. Sabemos que en la latitud de Madrid alcanza el Sol en la primavera y el otoño, al ser mediodía, una altura de $49^{\circ} 35' 30''$ sobre el horizonte meridional; que en verano pasa por el meridiano $23 \frac{1}{2}^{\circ}$ más alto y en el invierno $23 \frac{1}{2}^{\circ}$ más bajo, ó sea únicamente á unos 26° sobre el horizonte. En Urano, en latitud semejante, cuando el Sol alcanzase la misma altura meridiana en primavera y otoño, cruzaría por el cielo á corta distancia del polo, y como su año equivale á 84 años de los nuestros, el día sería de inmensa duración; si aceptamos que la inclinación del ecuador de Urano sea sólo de 76 grados sobre el plano de su órbita, se deduce que el Sol brillaría sobre su horizonte, en la estación estival, unos veintitrés años y medio, y que durante un período de tiempo igual permanecería invisible en la estación de invierno.

En otras latitudes son aún más marcados los contrastes; en las inmediaciones de ambos polos duran los inviernos cerca de cuarenta años, y en el ecuador a menor duración de la larga noche invernal es casi de un año terrestre, poco más ó menos. Sobre una faja que se extienda 14° á cada lado de la línea equinoccial, hay una perenne sucesión de días y noches, que jamás sobrepujan en

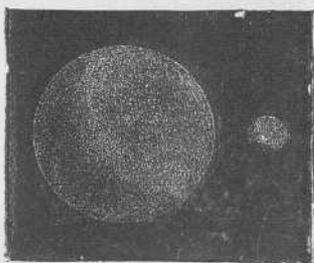


Fig. 209. - Dimensiones comparadas de Urano y la Tierra

duración al período de la rotación diurna del planeta. El inmenso arco de las excursiones solares produce grandes cambios en las estaciones, que difícilmente podemos apreciar. Entre un Sol que apenas rasa el horizonte en el invierno, y un Sol que se eleva verticalmente hasta el cenit, dos veces en el curso de un verano del planeta, hay campo para que puedan verificarse fenómenos importantísimos, desconocidos para nosotros, y para que el curso de las estaciones en nada se parezca al que siguen en nuestro globo.

Pero, según las recientes observaciones que en 1884 efectuaron los Sres. Henry, utilizando la gran ecuatorial del Observatorio de París, de 38 centímetros de abertura, no es tan grande la inclinación del eje como suponía Herschel. Esos

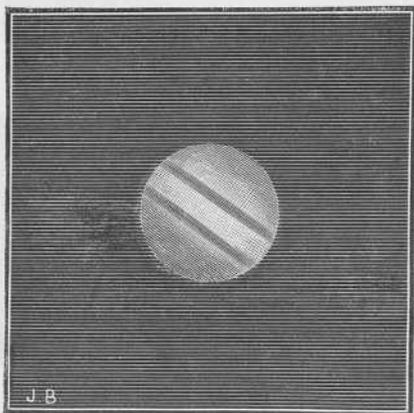


Fig. 210. — Aspecto de Urano en 1884
Observaciones de Henry, de París

(*Bol. de la Sociedad Astronómica de Francia*)

astrónomos distinguieron en el planeta dos bandas grises, rectas y paralelas, colocadas, poco más ó menos, como las de Júpiter; entre ellas se supone que está la zona ecuatorial de Urano. Los dos polos son bastante oscuros; el inferior parece más luminoso que el superior. La dirección de las bandas no coincide, desde luego, con la proyección del eje mayor de la órbita aparente de los satélites, sino que forma con él un ángulo de 40° ; como es razonable suponer que el ecuador sea paralelo á las bandas, teniendo en cuenta la posición de la Tierra en la época de la observación, resulta que entre el plano de la órbita de los satélites y el ecuador del planeta el ángulo de inclinación vale 41° . En la fig. 211 se representa la inclinación del ecuador respecto del

plano de la eclíptica, y también la del eje de rotación sobre la perpendicular al plano de la eclíptica, que viene á ser lo mismo, y es igual á 58° ; la del eje de revolución de los satélites es de 98° .

Observaron también los Sres. Henry algunas manchas, pero tan confusamente, que no les fué posible determinar el movimiento de rotación del planeta, ni el sentido en que pudiera verificarse.

Los habitantes de Urano, si es que los tiene, deben ser de una conformación bien distinta de la nuestra y de la de todos los animales terrestres; para esas criaturas, si acaso alguna de ellas estuviese dotada de inteligencia, presentarían los cielos, aunque desprovistos de planetas, un objeto interesante digno de estudio; la posición del polo, casi situado en el mismo zodiaco, hace que entre las constelaciones zodiacales se observen toda clase de movimientos, del mismo modo que se obtienen en la Tierra cuando vemos, en la línea equinoccial, que todas las estrellas describen arcos perpendiculares al horizonte; en las zonas medias, que estos arcos se hallan más ó menos inclinados según la latitud, y que, finalmente, en los polos circulan las estrellas alrededor del observador y en pla-

nos paralelos al horizonte. Por esta circunstancia, dice un escritor inglés, los uranícolas deben ser profundísimos matemáticos para haber comprendido el inextricable mecanismo de su cielo. Hay, por lo tanto, asuntos astronómicos en los cuales pueden ejercitar sus facultades como hábiles calculadores y quizá con más provecho que los astrónomos terrícolas; por ejemplo, el radio inmenso de la órbita del planeta permitirá á los uranícolas reconocer ciertos cambios en la posición de las estrellas en el curso del largo año de Urano.

Una dificultad, sin embargo, se presenta en este punto; y es que, debido á la enorme duración del año de Urano, deben sus astrónomos ser hombres de mucha edad y muy amantes del progreso de la ciencia, para efectuar solas estas observaciones, en que han invertido su vida aquí en la Tierra los Henderson, Olbers y Peters, puesto que un uranícola que hiciese una serie de observaciones para determinar la paralaje de una estrella, cuando tuviese, por ejemplo, veinticinco años de edad, tendría que aguardar á cumplir setenta, antes de poder realizar otra serie de observaciones para compararla con la primera y determinar la paralaje estelar.

Por otra parte, la mera consideración de que, después de desaparecer un asterismo del cielo nocturno de Urano, han de transcurrir treinta ó cuarenta años para que la misma constelación vuelva á ser visible en situación favorable, nos demuestra que las observaciones astronómicas de la superficie de este planeta difieren en gran manera de las que aquí en la Tierra efectuamos. Y basta de fantasías.

En los meses de enero y febrero de 1787 observó Herschel que Urano estaba acompañado por dos satélites, de los cuales el interno verificaba una revolución en menos de nueve días, y el externo en trece días y medio; la existencia de estos satélites fué comprobada varias veces por su ilustre descubridor, y posteriormente por muchos astrónomos. Para distinguirlos se necesita un buen antejo de 28 ó 30 centímetros de abertura.

Trató Herschel luego de buscar más satélites aprovechando todas las ocasiones propicias; las dificultades de esta investigación eran grandes y numerosas, pues no dependían únicamente de la debilidad y escaso brillo de los cuerpos, sino también de la incertidumbre en decidir si los objetos que casualmente encontraba en el campo de su telescopio eran satélites en efecto, ó pequeñas estrellas que por acaso se encontraban en la prolongación del mismo rayo visual.

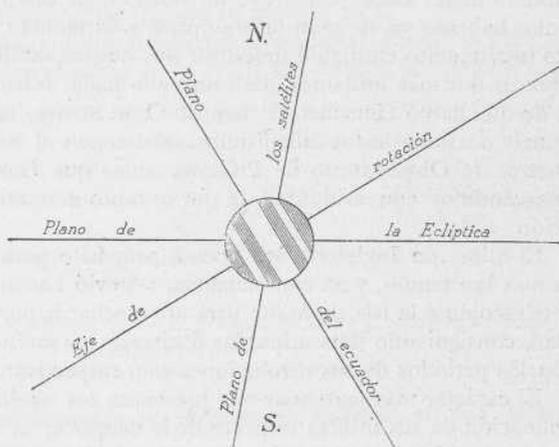


Fig. 211. — Sistema de Urano

Al cabo anunció la existencia probable de cuatro satélites adicionales, hallándose la órbita de uno de ellos comprendida dentro de las de otros dos descubiertos anteriormente; otro entre ellas, y los dos restantes fuera. Esto hacía elevar el número total á seis, y aunque las pruebas aducidas por Herschel en favor de la existencia de dichos satélites fueran insuficientes en absoluto, y que además ningún astrónomo haya llegado á verlos nunca, sin embargo, en muchas obras se dice que Urano va por los espacios acompañado de seis satélites.

Durante más de medio siglo no se dirigió al planeta Urano un telescopio más poderoso que el de Herschel, y nada pudo adelantarse sobre la existencia ó no existencia de los cuerpos en discusión. Al cabo, hacia el año de 1846, el astrónomo inglés Lassell construyó un reflector de dos pies de diámetro, del cual hemos hablado ya, de gran fuerza óptica y extremado poder de definición. Con este instrumento consiguió descubrir dos nuevos satélites dentro de la órbita de los otros dos más brillantes, pero no pudo hallar rastro de los cuerpos adicionales de que habló Herschel. El famoso Otón Struve, tantas veces citado, vió en algunas ocasiones estos difícilísimos objetos con el hermoso anteojo de 38 centímetros del Observatorio de Pulkowa antes que Lassell; pero no pudo seguir observándolos con asiduidad, ni por lo tanto determinar sus períodos de revolución.

El clima de Inglaterra era poco á propósito para la observación de estos cuerpos tan tenues, y en consecuencia, resolvió Lassell trasladar temporalmente su telescopio á la isla de Malta para aprovechar la pureza del cielo de esta localidad, consiguiendo determinar las órbitas de los satélites con bastante aproximación; los períodos de sus revoluciones son, respectivamente, de $2 \frac{1}{2}$ y 4 días.

El carácter más particular que presentan los satélites de Urano es la gran inclinación de sus órbitas respecto de la eclíptica; en vez de estar inclinados formando ángulos muy pequeños, como las órbitas de todos los demás planetas y satélites, casi son perpendiculares á este plano; verdaderamente, en sentido geométrico, son más que perpendiculares, porque la dirección del movimiento de los satélites en sus órbitas respectivas es retrógrado, anomalía que puede depender de la misma causa que su inclinación exagerada. Para cambiar la posición de la órbita de un satélite ordinario en la de estos otros, sería preciso enderezarla más de 100 grados; así que, suponiendo la órbita un plano horizontal, el punto correspondiente al cenit se encontraría 10° debajo del horizonte, y la superficie superior se hallaría inclinada más allá de la perpendicular, de modo que fuese la más baja de ambas.

Este hecho extraordinario del movimiento retrógrado de los satélites de Urano, nos demuestra con cuánta cautela hay que proceder siempre al generalizar y deducir las condiciones de lo desconocido, de las que afecten los objetos y cosas que caen bajo nuestro inmediato examen y conocimiento. Porque ¿á quién le dijeran que existe un astro central, dotado de un movimiento giratorio de Occidente á Oriente; que á su alrededor dan vueltas en períodos desiguales ocho planetas, animados asimismo de un movimiento giratorio de Occidente á Oriente; y que en torno de estos planetas circulan en la misma dirección, la Luna en derredor de la Tierra, Deimos y Fobos de Marte; Io, Europa, Ganímedes y Calisto de Júpiter; Mimas, Encélado, Tetis, Dione, Rhea, Titán, Hype-

rión y Jafet de Saturno; en todo, veintitrés cuerpos animados de un mismo movimiento traslatorio y de rotación de Oeste á Este, hubiera vacilado en afirmar que los nuevos cuerpos que por acaso pudieran enriquecer el cortejo planetario del Sol, no habían de seguir la misma dirección que sus congéneres? Véase, pues, con cuánta desconfianza hay que acoger las teorías y suposiciones de los que se complacen en poblar de seres imaginarios los mundos que ruedan por la inmensidad de los cielos.

Las observaciones de los satélites permiten determinar con bastante exactitud la masa de Urano; pues los resultados obtenidos de los planetas inmediatos Saturno y Neptuno, son de muy escasa confianza. Las medidas efectuadas con el gran antejo de Wáshington en 1884 demuestran que la masa de Urano debe ser $\frac{1}{22083}$ con un error probable de $\frac{1}{400}$ de su importe total.

La fig. 212 representa las dimensiones relativas de las órbitas de los cuatro satélites, rebatidas sobre el plano de la órbita del cuerpo primario, pues co-

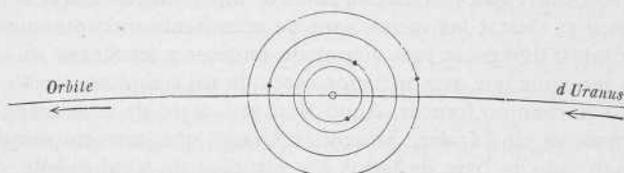


Fig. 212. — Órbitas de los satélites de Urano proyectadas sobre el plano de la órbita del cuerpo primario

mo hemos dicho, sus movimientos se efectúan, en realidad, en una dirección perpendicular á este plano.

Se supone, guiándose por analogía, que los satélites participan del movimiento de rotación común á todos los cuerpos celestes; pero las observaciones nada nos dicen sobre este punto, á causa de la enorme distancia á que se hallan de nosotros; se ha notado, sin embargo, que presentan variaciones en su intensidad luminosa. Las últimas observaciones efectuadas en 1894 y 1895 por Barnard, con el antejo de 91 centímetros, confirman estos resultados. Al primer satélite descubierto por Herschel, que en realidad es el tercero, se le puso por nombre Titania, y es relativamente fácil de observar en Mount Hamilton, menos cuando sopla viento que hace vibrar el antejo. El segundo, descubierto también por Herschel, se llama Oberón, y es el cuarto en orden á su distancia al planeta. El tercero descubierto, que es el primero, lo fué por Lassel en 1847 y se llama Ariel; se ve bastante bien, á pesar de su proximidad al cuerpo primario. El cuarto, descubierto por Struve en el mismo año, se llama Umbriel y presenta doble brillo que el anterior. Esto es lo único que se sabe de tan diminutos cuerpos, y jamás se han observado sus pasos por el disco del planeta, ni sus eclipses, causados por el cono de sombra que el mismo proyecta en el espacio; hay que creer, sin embargo, que estos fenómenos han de ocurrir forzosamente produciendo diversidad de aspectos en las noches del cuerpo central, muy semejantes á los que ya hemos estudiado.

CAPITULO XI

NEPTUNO

Descubrimiento de Neptuno. — Dimensiones y distancias de Neptuno.
Su aspecto físico. — Sus satélites

Al ocuparnos del hipotético planeta Vulcano, dijimos que el descubrimiento de Neptuno se efectuó, por medio del cálculo, con el único auxilio de las leyes de la gravitación universal, aun mucho antes de que fuese visto con el telescopio.

Ahora nos toca relatar las varias fases de este descubrimiento inmortal, cuya prioridad por tanto tiempo se han disputado ingleses y franceses.

Para esto tenemos que remontarnos cerca de un siglo; en efecto, en 1820, un distinguido astrónomo francés, Alejo Bouvard, trató de construir unas tablas de los movimientos de Júpiter, Saturno y Urano, que, aunque muy imperfectas hoy día, han sido la base de todos los estudios de igual índole verificados hasta época muy reciente. Los movimientos de Júpiter y Saturno concordaban de un modo bastante satisfactorio con la teoría de la gravitación; pero los de Urano presentaban discrepancias de valor considerable, y aunque se llevaran en cuenta las perturbaciones que debieran ocasionar los planetas conocidos, era imposible asignarle una órbita que comprendiese las observaciones antiguas y modernas. Por observaciones antiguas entendemos las de Flamsteed, Le Monnier y otros, que observaron este cuerpo celeste, sin sospechar su carácter planetario. En vista de esta discrepancia, rechazó Bouvard las antiguas observaciones, procedimiento en nuestro entender vicioso, pues nunca debe rechazarse lo que se oponga á una idea preconcebida, si el hecho que se aventura es cierto, y fundó sus tablas basándose únicamente en las observaciones modernas, dejando á los futuros observadores el trabajo de averiguar si las discrepancias que presentaban ambos sistemas dependían de errores cometidos por los primeros astrónomos, ó de la acción de alguna influencia extraña al planeta.

Dió fin á sus tablas en 1821, en las cuales el movimiento del planeta se hallaba representado con bastante fidelidad; pero esta concordancia duró bien poco tiempo, pues en 1830 llegaba el error á 20", á 9" en 1840 y en 1844 alcanzó nada menos que 2'. Estas diferencias, pequeñas en sí, eran muy considerables desde el punto de vista astronómico, y aun cuando de haberse encontrado en el cielo dos estrellas, una en el propio lugar del planeta, y en el lugar indicado por las tablas la otra, hubiera sido imposible separarlas á la simple vista, y aparecerían como una sola estrella, sin embargo, con la amplificación de los anteojos se verían muy abiertas, siendo perfectamente mensurable el espacio que las separaba.

La causa probable de estas desviaciones se discutió muchas veces por astró-

nomos distinguidos, llegando á creer algunos, y entre ellos Bouvard, muerto en 1840, que estas perturbaciones debían atribuirse al influjo de un planeta exterior á Urano; de esta opinión participaron astrónomos notables de la época, como Valz, Somerville, Maedler y Bessel; este último se propuso atacar el problema matemáticamente, pero una enfermedad mortal le impidió realizar su proyecto.

Adams, alumno de la universidad de Cambridge, en Inglaterra, trató asimismo de investigar este asunto, empezando sus trabajos el 3 de julio de 1841, los que poco después fueron suspendidos, para continuarlos con más vigor en enero de 1843. Trabajó aisladamente durante dos años sobre la hipótesis de un planeta externo, y en octubre de 1845 presentó al profesor Airy algunos elementos del supuesto cuerpo, bastante aproximados á la verdad, y tanto, que si entonces se hubiese explorado el cielo en la dirección indicada, pudiera haberse encontrado el planeta. El astrónomo real, sin embargo, algo incrédulo, aplazó la observación hasta obtener más datos de M. Adams, los que no llegó á recibir, sin que sepamos el motivo. Mientras tanto, el planeta, que en el mes de agosto se encontraba en oposición, volvió á perderse en los rayos solares, y no podía verse de nuevo hasta el verano próximo. Esta fué la solución del problema desde el punto de vista teórico, y es de sentir, en verdad, que los trabajos de Adams permanecieran ignorados durante tanto tiempo.

En el verano de 1845 aconsejó el ilustre Arago al joven Le Verrier, que se había distinguido por algunos trabajos matemáticos notables, que investigase las perturbaciones del movimiento de Urano. Púsose Le Verrier al momento á la obra, procediendo en sus trabajos con un método y orden admirables. Su primer cuidado fué revisar las tablas de Bouvard, para saber si las discrepancias observadas provenían de errores cometidos en las efemérides que este insigne astrónomo había calculado; luego procedió á computar con el mayor esmero las perturbaciones que las masas de Júpiter y de Saturno podían causar en la marcha de Urano, examinando al propio tiempo los datos de las efemérides; de esta suerte averiguó que las tablas contenían algunos errores pequeñísimos, los cuales, sin embargo, no podían producir las discrepancias observadas. Contrajo la segunda fase del problema á examinar si era posible establecer una órbita, en la que, teniendo en cuenta las acciones combinadas de Júpiter y Saturno, pudiera representar con exactitud las observaciones modernas. El resultado fué negativo, pues la mejor órbita obtenida indicaba inflexiones en opuestos sentidos, demasiado considerables para que pudieran atribuirse á errores de observación. Suponiendo que las desviaciones se debieran á la atracción de algún cuerpo desconocido, inquirió luego Le Verrier dónde podría estar situado el planeta; no era posible que su órbita estuviese comprendida entre las de Saturno y Urano, porque, en este caso, perturbaría tanto los movimientos del primero de estos cuerpos como los del segundo. Era indispensable, pues, buscar el cuerpo perturbador más allá de la órbita de Urano, y probablemente á una distancia doble casi de la de este planeta, según indicaba la ley de Bode.

En junio de 1846 presentó el geómetra francés á la Academia de Ciencias de París una memoria sobre este asunto, con todos los elementos de la órbita del desconocido planeta, anunciando al mismo tiempo que á principios de 1847 sería su longitud de 325° , visto desde la Tierra.

Recibió M. Airy un ejemplar de la Memoria el 23 de junio, y llamándole vivamente la atención la concordancia que presentaban los elementos hipotéticos de Le Verrier con los de Adams, que aún conservaba en su poder, escribió en seguida al profesor Challis, del Observatorio de Cambridge, para que inmediatamente procediese á buscar el ignoto planeta, comenzándose las investigaciones sistemáticas el 11 de julio por la noche. Desgraciadamente, el sabio astrónomo adoptó un método de observaciones que, aunque á la larga le hubieran permitido descubrir el planeta, era, sin embargo, en extremo laborioso; pues en vez de tratar de reconocerlo por la magnitud de su disco, quiso columbrarlo por su movimiento á través de las constelaciones, para lo cual se vió obligado á construir una carta celeste de la región en que se suponía que se hallaba el planeta. Este procedimiento se parece al que emplease un hombre que, habiendo perdido un diamante en la playa, transportase toda la arena del sitio en que se verificó la pérdida á su casa, para cribarla en ella con toda tranquilidad.

A pesar de estos inconvenientes, concluyó el incansable astrónomo sus cartas, y el 29 de septiembre distinguió un cuerpo que llamó su atención, y que, como más tarde se supo, era el planeta objeto de sus anhelos. También se averiguó que el planeta se había observado en las noches del 4 y 12 de agosto; pero por falta de tiempo, que tuvo que emplear en otras atenciones de su cargo, no pudo el profesor Challis reducir sus observaciones y anticiparse al descubrimiento de otro astrónomo alemán; pues mientras el observador inglés estaba aún empeñado en su catastro sidéreo, sin sospechar siquiera que en sus cuadernos se encontraba aprisionado, en forma de guarismos, el objeto de sus desvelos, había escrito Le Verrier al famoso Encke solicitando su cooperación para buscar el supuesto planeta.

Los astrónomos de Berlín acababan de recibir una carta celeste del doctor Bremiker, que comprendía la parte del cielo que asignaban al desconocido astro los cálculos de Le Verrier. Dirigiendo el doctor Galle, ayudante de Encke, el anteojo hacia el lugar predicho, percibió una estrella de octava magnitud, que no se encontraba indicada en el mapa; esto ocurrió el 23 de septiembre. Al día siguiente determinó de nuevo, con el mayor cuidado, su posición, y de su movimiento y del aspecto circular del cuerpo dedujo que no podía ser una estrella, y sí el planeta anunciado. Cuando este suceso llegó á oídos del doctor Challis, apresuróse á buscar en sus cuadernos de observaciones, y halló, como hemos dicho, que su descubrimiento era anterior al de Galle en más de un mes.

El descubrimiento de Neptuno, verificado por un método tan extraordinario, con el solo auxilio del cálculo y sin alzar la vista al cielo, produjo en el mundo científico un entusiasmo indescriptible; en efecto, como dice Arago, el método seguido por Le Verrier difiere completamente de cuanto se había intentado antes por los geómetras y astrónomos. Estos últimos han encontrado á veces, de un modo accidental, un punto móvil, un planeta, en el campo de su telescopio; Le Verrier ha distinguido el nuevo astro sin tener necesidad de dirigir una mirada al cielo; *«lo ha visto en el extremo de su pluma;»* por la sola potencia del cálculo, ha determinado el lugar y la magnitud aproximada de un cuerpo situado más allá de los límites conocidos de nuestro sistema planetario, de un cuerpo cuya distancia al Sol pasa de 1.100 millones de leguas, y que en

nuestros poderosos telescopios apenas ofrece un disco sensible. Así, pues, el descubrimiento de Le Verrier es una de las manifestaciones más brillantes de la exactitud de los modernos sistemas astronómicos, y servirá para que los geómetras, con nuevo ardor, investiguen las verdades eternas que permanecen ocultas, según la frase de Plinio, en la majestad de las teorías.»

La siguiente carta del ilustre Encke demuestra la emoción que causó entre los sabios el maravilloso descubrimiento del joven matemático francés: «Permitidme que os felicite con completa sinceridad por el brillante descubrimiento con que habéis enriquecido la astronomía. Vuestro nombre permanecerá unido eternamente á la prueba más extraordinaria que pueda imaginarse de la exactitud de la atracción universal.»

He aquí ahora un extracto de la carta que el venerable Schumacher dirigió á Le Verrier por igual motivo: «Aunque sepáis ya por Encke que vuestro planeta se ha encontrado casi exactamente en el lugar y circunstancias que habíais anunciado, pues hasta su diámetro es de 3 segundos, no puedo resistir á los impulsos de mi corazón al transmitir, sin tardar, mis sinceras felicitaciones por vuestro brillante descubrimiento. Es el triunfo más notable de la teoría, de que tengo noticia.»

La prioridad de este descubrimiento maravilloso pertenece exclusivamente á Le Verrier, y aunque el astrónomo inglés Adams le precedió casi en un año, ni publicó el resultado de sus trabajos antes de que el planeta fuese observado por Galle, ni parece que los astrónomos de la Gran Bretaña tuvieran gran confianza en los cálculos de su compatriota, para tomarlos como punto de partida en sus investigaciones del estrellado firmamento. El mérito de Adams es muy grande sin duda alguna; pero, como sucede con extraordinaria frecuencia en los concursos científicos, este astrónomo no satisfizo todas las cuestiones del programa. Adams dió cuenta de sus trabajos analíticos á varios astrónomos ingleses, que los guardaron con el mayor sigilo, sin aprovecharse, empero, para sus investigaciones de los datos que encerraban. Le Verrier, por su parte, nada supo de esto, y sus trabajos y cálculos, más exactos que los de Adams, son por completo independientes.

Por otra parte, el espíritu de la verdadera ciencia es llegar á un nivel en que las disputas acerca de la prioridad de los descubrimientos se consideren como inferiores á su dignidad; los adelantos todos redundan en beneficio de la raza humana, y cuando se realiza un mismo descubrimiento por varias personas á la vez, pero con entera independencia, no hay duda de que todas ellas son igualmente dignas de encomio y de agradecimiento. Desde este punto de vista, se debe dar á Adams una gran parte de la gloria alcanzada por Le Verrier, si bien no debemos olvidar que los cálculos de este último eran más exactos y más aproximados á la verdad que los del astrónomo británico.

Véanse, si no, los resultados siguientes:

POSICIONES HELIOCÉNTRICAS

| | |
|-----------------------------------|----------|
| Observada por Galle. | 326° 52' |
| Calculada por Le Verrier. | 326° 0' |
| Calculada por Adams. | 329° 19' |

De todos modos, la conquista del planeta Neptuno es uno de los más grandes triunfos de las teorías astronómicas, una de las mayores glorias de la ciencia moderna y uno de los títulos más legítimos que puede ostentar nuestro siglo, en solicitud del reconocimiento y la admiración de la posteridad.

El descubrimiento de Neptuno dió origen también á una serie de investigaciones, encaminadas á averiguar si el planeta había sido visto con anterioridad por algún astrónomo que lo hubiese tomado por una estrella fija; en este asunto tomaron los observadores norteamericanos una parte muy activa, trabajando de un modo particular Walker, del Observatorio de Washington.

Pocos meses de observación bastaron para mostrar que la distancia del planeta al Sol no se apartaba mucho de 30; tomando como unidad, según costumbre, la distancia de la Tierra al mismo luminar, y suponiendo circular la órbita, determinó el astrónomo americano los lugares aproximados que el planeta hubo de ocupar en los años anteriores á su descubrimiento; trazó su curso de año en año, con objeto de averiguar si en alguna época pudo pasar á través de determinadas regiones, que al mismo tiempo fuesen objeto de los estudios é investigaciones telescópicas de algún astrónomo, ocupado en preparar materiales para la construcción de un catálogo de estrellas. Nada encontró, sin embargo, hasta llegar al año 1795; en los días 8 y 10 del mes de mayo, Lalande observó el planeta Neptuno como una estrella de octava magnitud, según creen el citado Walker, Mauvais y Petersen, que también se dedicaron

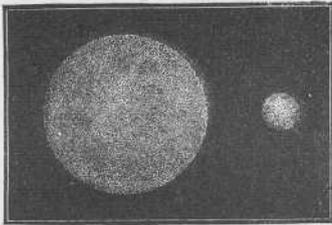


Fig. 213. - Dimensiones comparadas de Neptuno y la Tierra

á este género de investigaciones, pues si bien es difícil fijar con exactitud la posición del planeta para una época tan remota, sin embargo, es posible trazar con mediana aproximación el lugar aparente de la órbita, como una línea curva á través de las estrellas; después de eliminar las estrellas que se encontraban demasiado distantes de esta línea y las que habían sido percibidas por los antiguos observadores, quedaba una estrella observada el 10 de mayo que se encontraba muy próxima á la órbita calculada. Walker se apresuró á anunciar que si esta región del cielo se exploraba con el telescopio, se vería que la estrella se había perdido; comunicó su predicción á varios astrónomos de los Estados Unidos, y en la primera noche oportuna el profesor Hubbard dirigió su anteojo á la región indicada, sin hallar rastro alguno de la estrella.

Había, sin embargo, un punto débil en este resultado, y no podía asegurarse sin más examen que la estrella perdida fuese el planeta Neptuno. Lalande marcó la observación de la estrella con un signo interrogativo (?) para indicar que tenía alguna duda sobre su exactitud; era posible, por lo tanto, que la posición de la estrella fuese errónea y resultase inscrita á causa de su misma falsa posición. Por fortuna, los manuscritos originales de Lalande se conservaban religiosamente en el Observatorio de París, y tan pronto como llegaron á la capital de Francia noticias de los trabajos de Walker, se apresuraron los astrónomos del Observatorio á examinar las observaciones del 8 y del 10 de mayo de 1795. Se vió con

alegría que en los registros de Lalande no había indecisión alguna, y que este astrónomo había observado realmente el planeta en las noches del 8 y del 10 de mayo de la época citada, y que habiendo caminado el cuerpo, aunque poco, en el intervalo de dos días, no concordaban ambas observaciones, suponiendo Lalande que una de ellas debía ser errónea, sin sospechar que en esta escasísima discrepancia se encerraba un descubrimiento que hubiera hecho su nombre inmortal.

Neptuno aparece en los telescopios de mediano poder óptico como una estrella de octava magnitud, por manera que, á la simple vista, es completamente invisible; en buenas condiciones atmosféricas, y con un anteojito poderoso, se distingue su disco circular de un diámetro aparente de $2'',433$ á su distancia media de la Tierra; su distancia media al Sol es de 1.104 millones de leguas; la máxima de 1.114 y la mínima de 1.095 millones.

Como Neptuno gira en torno del Sol en una órbita externa á la Tierra, varían sus distancias á nuestro globo según el punto que ocupa, siendo la menor de 1.070 millones y la máxima de 1.180 millones en las conjunciones.

La órbita que describe este remotísimo planeta presenta un desarrollo inmenso, de 7.000 millones de leguas, con una excentricidad de 0,0087, y la recorre en 60.126 días, ó lo que es lo mismo, en 164 años y medio, con una velocidad relativa muy pequeña, pues siendo el más lejano de los planetas, ejerce el Sol sobre él una atracción mucho más débil que sobre los demás astros. Una operación aritmética sencillísima nos permite averiguar que la velocidad real del cuerpo en su órbita es de 116.000 leguas diarias, ó 5 kilómetros y medio por segundo.

La duración de su revolución sinódica, ó intervalo que transcurre entre dos conjunciones consecutivas, es de 367 días.

Si tomamos como unidad el diámetro de la Tierra, hallamos que el de Neptuno es de 3,8, de donde resulta que el planeta tiene un volumen 55 veces más considerable que el de nuestro globo (fig. 213); mide de polo á polo unas 13.000 leguas, siendo la longitud de su periferia de 41.000 leguas y su superficie 17 veces mayor que la del globo terráqueo.

Las observaciones del aspecto físico de Neptuno son muy difíciles; no presenta compresión alguna, y todos sus diámetros parecen iguales; en su superficie no se distinguen ni manchas, ni bandas, y su disco aparece de un color homogéneo, azulado pálido. Por esta causa se ignora si gira sobre su eje como los demás planetas, ni se sabe tampoco el tiempo que pueda emplear en su rotación.

Lassel, Challis y Bond sospecharon en cierta época que este planeta estaba rodeado por un anillo circular semejante al de Saturno; pero observaciones más recientes, verificadas en buenas condiciones atmosféricas, han demostrado que esto era una ilusión.

Representando por 1 las cantidades de luz y calor que la Tierra recibe del Sol, vienen á ser estos mismos elementos, en la superficie de Neptuno, como 0,001, es decir, una milésima parte.

Examinando Lassel el disco de Neptuno poco después de su descubrimiento, con el auxilio de su telescopio de dos pies de diámetro (61 centímetros), percibió en varias ocasiones un punto luminoso en las inmediaciones del planeta. Durante el año siguiente adquirió el convencimiento de que se trataba de un satélite que giraba en torno del cuerpo primario en $5^d 21^h 2^m$. En 1847 y 1848 fué

observado este nuevo cuerpo en Cambridge y en Pulkowa por Bond y Struve respectivamente. Estas observaciones demostraron que su órbita presentaba una inclinación respecto de la eclíptica de unos 30° , pero no fué posible averiguar la dirección del movimiento, á causa de la posición particular que ocupaba el satélite en su órbita. Pocos años bastaron, sin embargo, para aclarar este punto, y se averiguó que el movimiento del satélite neptuniano era retrógrado, caso más extraordinario aún que el de los satélites de Urano; puesto que para representar la posición de la órbita y la dirección del movimiento del modo ordinario, tendrían que levantarse la órbita más de 150° , lo que equivaldría á invertir su posición por completo.

Las determinaciones de los elementos de este satélite son muy discordantes, lo cual debe atribuirse á la dificultad que presenta su observación, pues su brillo no pasa del de una estrella de la $14.^{\text{a}}$ magnitud. Pickering estima que es del tamaño de la Luna; sin embargo, se ha determinado su distancia al cuerpo primario evaluándola en unas 100.000 leguas, que viene á ser la que hay de la Luna á la Tierra. De las distancias del satélite al planeta se ha deducido la masa de éste; las observaciones de Struve (1894) dan $\frac{1}{19.396}$.

De modo que la masa de Neptuno equivale á 19 veces la masa de la Tierra, teniendo la materia que compone el globo de aquel planeta una densidad que escasamente pasa del quinto de la densidad media de la Tierra, y en relación con la densidad del agua, es igual á 1,15.

La fuerza de gravedad en la superficie del planeta es algo inferior á la de la Tierra, pues llega sólo á unas 950 milésimas.

A pesar de su insignificancia, ha levantado el pequeño satélite de Neptuno problemas en extremo interesantes. En 1888 Mr. Marth publicó un trabajo, en el que hacía ver que el plano de la órbita del satélite de Neptuno cambiaba lentamente y en un mismo sentido, como demostraba la serie de observaciones efectuadas de 1852 á 1883, pues en el intervalo de esos treinta y un años la inclinación de su plano había aumentado cosa de 5° , lo que no podía atribuirse, por lo considerable, á errores de observación, y menos aún, considerando que después de esa fecha, en los diez años siguientes, ha confirmado Struve el mismo fenómeno, utilizando en sus trabajos la gran ecuatorial de Poulkowa.

Tisserand, último Director del Observatorio de París, atribuye esta perturbación al achatamiento del planeta que nadie ha visto; pero después de las maravillas que acabamos de relatar sobre el descubrimiento de Neptuno, no debemos sorprendernos porque de las modificaciones de la posición de un plano se deduzca la forma de un cuerpo celeste.

Debido á la inmensa distancia que hay de Neptuno al Sol, sólo son visibles desde este remotísimo planeta sus congéneres Saturno y Urano; los astrónomos neptunianos pueden, sin embargo, mejor que sus vecinos los uranícolas, estudiar el cielo estrellado y la paralaje de los luminares que lo pueblan, pues para el caso cuentan con una línea de base, treinta veces mayor que el diámetro de la órbita terrestre.

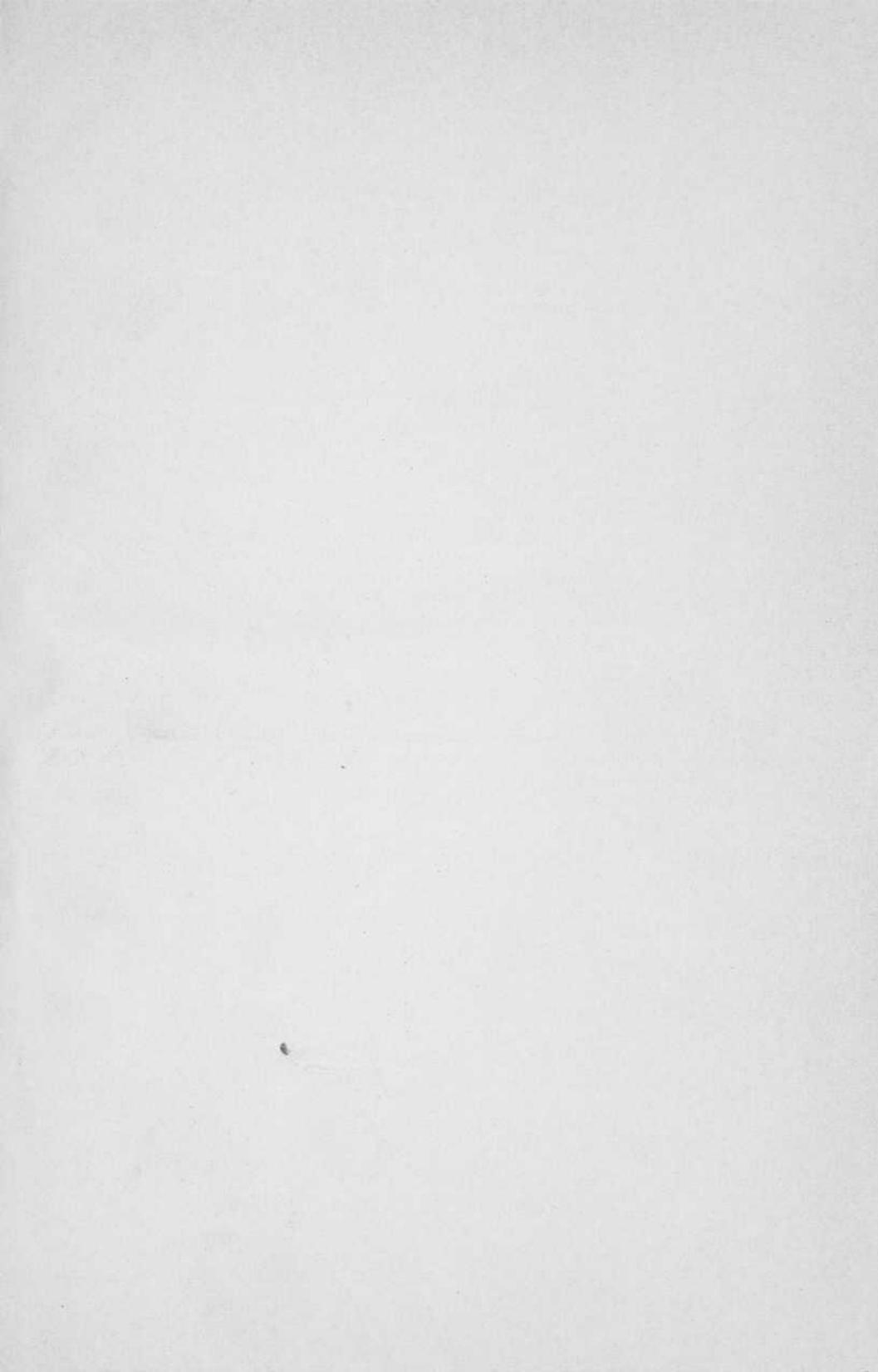
ÍNDICE

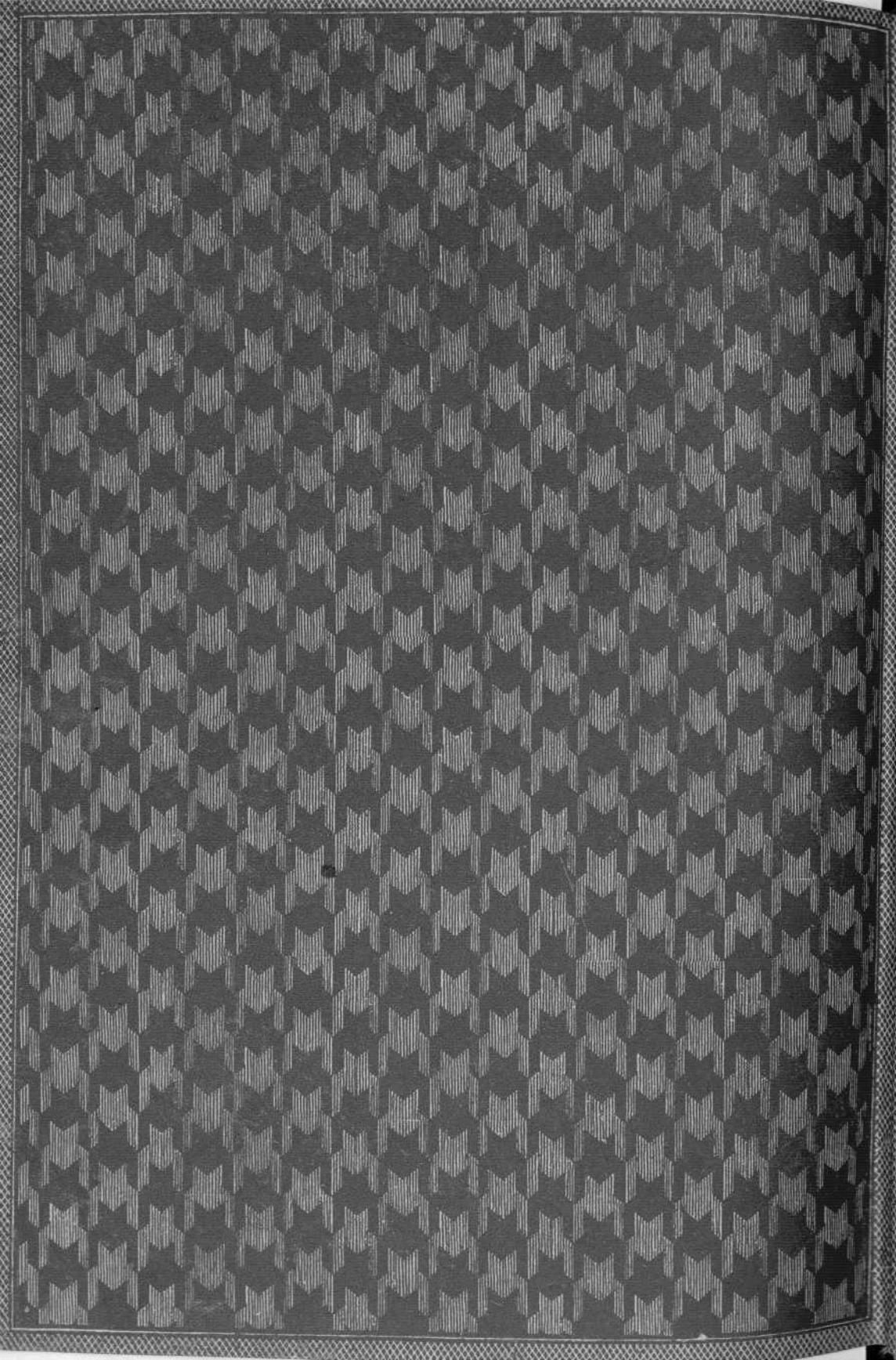
DEL TEXTO CONTENIDO EN ESTE TOMO

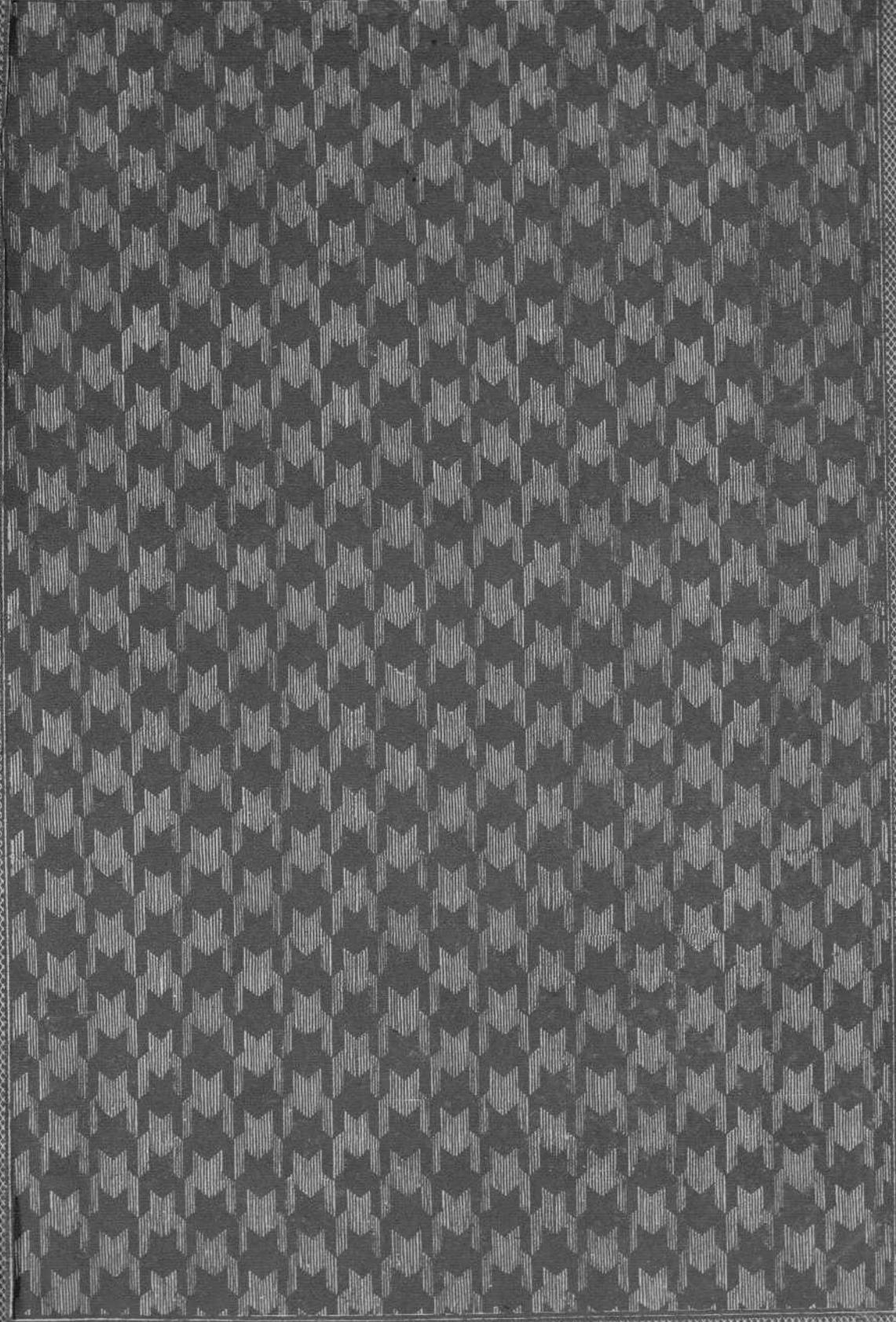
| | Páginas |
|---|---------|
| <i>Introducción.</i> | 5 |
| LIBRO PRIMERO | |
| EL SOL | |
| CAPÍTULO I. - El Sol á simple vista. - Forma, dimensiones y distancia del Sol. - Las manchas solares. - Su descubrimiento - Métodos para observarlas. | 7 |
| - II. - Movimiento y deformación aparente de las manchas. - Formas de sus trayectorias según la época del año. - Aspecto de las manchas solares y de la fotosfera. - Rugosidades de la fotosfera. | 20 |
| - III. - Formación de las manchas. - Su nivel. - Del núcleo ó umbra. | 31 |
| - IV. - Elementos del movimiento de rotación. - Trabajos modernos. - Movimientos propios de las manchas. - Períodos de las manchas. | 44 |
| - V. - Temperatura solar. - Radiaciones luminosas. - Acción magnética del Sol. | 54 |
| LIBRO SEGUNDO | |
| LOS PLANETAS | |
| <i>Introducción.</i> | 69 |
| CAPÍTULO I. - <i>Vulcano.</i> | 75 |
| - II. - <i>Mercurio.</i> - Conocimientos de los antiguos sobre Mercurio. - Dimensiones y distancias de Mercurio. - Aspecto y movimientos de Mercurio. - Pasos de Mercurio por el disco del Sol. | 81 |
| - III. - <i>Venus.</i> - Conocimientos de los antiguos sobre Venus. - Dimensiones y distancias de Venus. - Movimientos de Venus. - Descubrimiento de sus fases. - Visibilidad de Venus en pleno día. - Movimiento de rotación de Venus. - Montañas de Venus. - Satélite de Venus. - Paso de Venus por el disco del Sol. | 99 |
| - IV. - <i>La Tierra.</i> - Ligeras ideas sobre la situación y forma de la Tierra. - Pruebas vulgares del movimiento de rotación de la Tierra. - Forma verdadera y dimensiones de la Tierra. - Estudio del movimiento de rotación de la Tierra. - Estudio del movimiento de traslación de la Tierra. - El día y la noche - Las estaciones. - Latitudes y longitudes terrestres - Mapas geográficos. | 123 |

| | Páginas |
|---|---------|
| CAPÍTULO V. - <i>La Luna</i> . - Aspecto de la Luna á la simple vista. - Fases de la Luna: luz cenicienta. - Forma, distancias y dimensiones de la Luna. - Determinación de la distancia de la Luna. - Movimientos de la Luna. - Aspecto telescópico de la Luna. - Atmósfera lunar. - Mapas selenográficos; topografía lunar. - El mundo lunar; la noche y el día en su superficie. | 188 |
| - VI. - <i>Marte</i> . - Conocimientos de los antiguos sobre Marte. - Movimiento de Marte. - Aspecto de Marte: sus fases y dimensiones. - Satélites de Marte. - Aspecto geográfico y constitución física de Marte. | 279 |
| - VII. - <i>Los pequeños planetas</i> . - Su descubrimiento: ley de Titio ó de Bode: estudios generales de los pequeños planetas. - Cómo se descubren los planetoides. | 307 |
| - VIII. - <i>Júpiter</i> . - Aspecto de Júpiter: su movimiento respecto del Sol. - Aspecto telescópico de Júpiter: su movimiento de rotación, sus bandas y atmósfera. - Descubrimiento de los satélites de Júpiter. - El mundo jovial. | 323 |
| - IX. - <i>Saturno</i> . - Conocimientos de los antiguos sobre Saturno: movimientos aparentes de este planeta. - Rotación, forma y achatamiento de Saturno. - Descubrimiento de los anillos de Saturno. - Examen telescópico del anillo de Saturno. - Constitución de los anillos de Saturno. - Satélites de Saturno. - El mundo de Saturno. | 354 |
| - X. - <i>Urano</i> . - Descubrimiento de Urano. - Sus dimensiones y movimientos. - Su constitución física. - Los satélites de Urano. | 400 |
| - XI. - <i>Neptuno</i> . - Descubrimiento de Neptuno. - Dimensiones y distancias de Neptuno. - Su aspecto físico. - Sus satélites. | 408 |

ADVERTENCIA. - La lámina cromolitografiada que lleva el título de SATURNO deberá colocarse enfrente de la portada, y la CARTA TOPOGRÁFICA DE LA LUNA en la página 241.











THE
UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS



THE
UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

FA

10151

