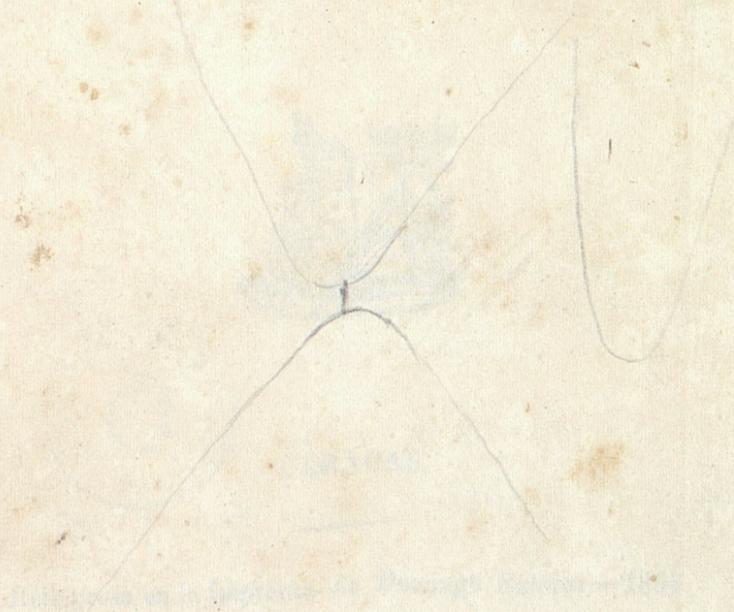


5

# COSMOGRAFIA.



# COSMOGRAFIA

771-84

523-11  
B-446  
e. 2

0

## DESCRIPCION DEL UNIVERSO

CONFORME

A LOS ULTIMOS DESCUBRIMIENTOS.

*Por Andres Bello.*



CARACAS.

Reimpresa en la Imprenta de Domingo Salazar.—1853.

P-3422



CAE0563

Cat B. ES. ec. 49

## REPUBLICA DE VENEZUELA.

---

Dirección general de Instrucción pública.

Caracas, 13 de Agosto de 1853, año 24.º de la Lei i 43.º de la Independencia.

**Sr. Licenciado Juan de Dios Morales.**

La Dirección General de Instrucción Pública, que tengo el honor de presidir, ha celebrado en sesión de 11 de los corrientes, el acuerdo siguiente:

“Considerando la Dirección que la obra de Cosmografía del Ilustre Venezolano Andres Bello, por la filosófica clasificación de las materias, claridad, concisión i exactitud de las descripciones, es una rica adquisición para la juventud venezolana i para todos los que deseen tener conocimientos precisos de los innumerables cuerpos que pueblan la bóveda del firmamento, las grandes leyes que los rigen y producen la hermosa perspectiva de los cielos en toda su magnificencia i esplendor; i que además, entre otros mil gratos recuerdos de su autor, es uno, no ménos honorífico para el país que le vió nacer, resolvió: que la obra de Cosmografía del Sr. Andres Bello, se adopte como uno de los textos preferentes para la enseñanza en las Universidades i Colegios de la República, i que se participe así a quienes corresponda.

Lo que participo á U. para su inteligencia i satisfacción.

Soi de U. atento servidor.—El Presidente

*J. I. Rojas.*

## ADVERTENCIA DEL AUTOR.

En este libro me he propuesto hacer una exposicion tan completa del sistema del universo, segun el estado actual de la ciencia astronómica, como lo permitia la limitada estension a que me he reducido. Pero mi exposicion será simplemente descriptiva. Referiré las formas, dimensiones, movimientos i situacion respectiva de los grandes cuerpos que pueblan el espacio; i daré noticia de las grandes leyes que dominan á todos ellos, i producen el hermoso espectáculo de los cielos en su inmensa magnificencia, de que la vista no percibe mas que una parte pequeñísima, porque es la inteligencia humana, armada de poderosos instrumentos i del cálculo, la que nos ha revelado su grandeza. En suma, referiré del modo mas comprensivo i sencillo que me sea posible los grandes resultados de la ciencia; pero los supondré demostrados, i solo haré mérito de las pruebas mas obvias i que puedan con mas facilidad comprenderse. Me ha servido principalmente de guia el celebrado tratadito astronómico de Sir John Herschel; i la noticia que doi de los últimos descubrimientos hasta el año de 47, la he tomado del *Foreign Quarterly Review* de Lóndres.

No debo pasar en silencio, que el señor don Andres Gorbea, Decano de la Facultad de ciencias matemáticas i físicas, ha tenido la bondad de revisar los primeros capítulos, en los cuales ha contribuido a la exactitud de algunos datos, segun las mas recientes observaciones. ¡ Ojalá que sus numerosas ocupaciones le hubiesen permitido continuar la revision hasta el fin !

Me atrevo á esperar que este trabajo será de alguna utilidad á las personas de toda edad i sexo que deseen formar una mediana idea de las estupendas maravillas de la creacion en el departamento científico que mas en grande las presenta. Si no es este un curso de cosmografía bastante elemental para la juventud de nuestros colegios, me lisonjeo con todo, de que podrá servir á los profesores que no hayan hecho un estudio especial de la astronomia; i creo tambien que los mas de sus capítulos proporcionarán a los alumnos la ventaja de ver desenvueltas con alguna estension las materias que ordinariamente se enseñan.



# COSMOGRAFIA.

LA COSMOGRAFÍA es la descripción del Universo. Ella da a conocer la naturaleza, magnitudes, figuras, distancias i movimientos de los grandes cuerpos que pueblan el Universo visible; es a saber, el sol, la luna, las estrellas, los planetas, los cometas i la Tierra. Su objeto es el mismo que el de la astronomía; pero mientras ésta se apoya en observaciones y cálculos, la cosmografía se contenta con una simple exposición, resumiendo los resultados principales de la ciencia astronómica. La cosmografía describe solo; la astronomía demuestra.

Principiamos por la Tierra, porque es de todos los grandes cuerpos referidos, el mas importante para nosotros, que vivimos en ella, i contemplamos desde su superficie la hermosa decoracion de los cielos, i los movimientos de todos los astros.

## CAPITULO I.

### PRIMERAS NOCIONES DE LA TIERRA.

1. *Idea general de la Tierra.* 2. *Efectos visibles de la redondez de la Tierra: horizonte, vertical, zenit, nadir: depresion del horizonte.* 3. *Grande aproximacion de la Tierra a la forma esférica.* 4. *Atmósfera.* 5. *Refraccion.*

## 1.

La Tierra es un gran cuerpo, separado de todos los otros en el espacio, sin apoyo alguno sólido, i de una figura que se acerca mucho a la esférica.

## 2.

De la redondez de la Tierra procede que cuando en una nave nos alejamos de la costa, dejamos de ver sucesivamente las faldas, las cuestas, i al fin las cumbres de una elevada cordillera; porque entre estos objetos i nosotros se va levantando poco a poco la curvatura de la Tierra cubierta por las aguas del mar. Por la misma razon, para los que miran la nave desde el puerto, desaparece primero el casco, i despues gradualmente las velas; como si se fuera hundiendo poco a poco en el agua. Si la Tierra fuese plana, pudiéramos alcanzar a ver las rejiones distantes de que solo nos separa la mar, una vez que en esta no hai montes que embaracen la vista: desde las playas de Chile, auxiliados de un telescopio, podríamos ver las islas de la Oceania, el Japon i la China.

Muestran tambien la redondez de la Tierra los viajes que se hacen al rededor de ella, en los cuales, llevando una direccion constante, puede volver el viajero al paraje de donde partió, despues de haber atravesado un espacio mas o ménos largo; como debe suceder necesariamente en la superficie de un cuerpo redondo.

Cuando embarcados perdemos de vista el puerto y navegamos en una misma direccion hasta volver al punto de donde hemos partido, vemos siempre extendida al rededor de nosotros una vasta llanura circular que toca por toda su circunferencia la bóveda celeste, excepto donde lo impiden las islas i continentes que en nuestro camino divisamos. Decimos entónces que el mar *hace horizonte*, esto es, limita la vista: horizonte se deriva de una palabra griega que significa limitar. Un vasto llano terrestre, como el de las Pampas de Buenos-Aires, hace tambien horizonte.

Considerada la Tierra como esférica, el *horizonte* es un plano circular, terminado por el cielo, i tanjente a la superficie terrestre en aquel punto donde se halla colocado el observador. Con este plano coincide a la vista la superficie de las aguas, i de las grandes llanuras que llamamos *horizontales*: superficie realmente convexa, aunque a la distancia a que alcanza la vista, no nos sea posible percibirlo. Cada punto de la Tierra tiene pues su horizonte. Pasamos de uno a otro sin sentirlo; i

caminando acia la circunferencia nos hallamos siempre en el centro: fenómeno que solo puede tener lugar en la superficie de un gran cuerpo redondo.

La línea que describen los cuerpos cuando caen abandonados a su peso, es *vertical*, esto es, perpendicular al horizonte; i si la prolongamos imaginariamente, pasará por el centro de la Tierra, considerada como una esfera perfecta, i sus extremidades tocarán el cielo en dos puntos opuestos: el superior se llama *zenit*, i el inferior *nadir*. Como cada lugar de la superficie terrestre tiene su horizonte, tiene tambien su vertical, su zenit y nadir peculiares; cada vertical pasa por dos puntos opuestos de la superficie terrestre; i el centro de la Tierra es el punto en que todas las verticales se cruzan.

Si el ojo espectador fuese un punto matemático situado en la llanura horizontal que parece extenderse hasta la esfera celeste, el horizonte dividiria la esfera en dos porciones, la una visible, la otra interceptada por la Tierra. Pero como esa suposicion no es exacta, pues el ojo espectador está siempre mas o ménos elevado sobre la superficie horizontal, el círculo que le limita la vista del cielo no coincide con el verdadero horizonte o plano tanjente que dejamos descrito. Por un efecto de la redondez de la tierra hai siempre debajo del horizonte *real* una banda ó zona celeste visible, cuyo limbo inferior se llama horizonte *visual*. El ancho de esa zona se llama *depression del horizonte*; crece mas i mas a medida que se eleva el observador; i aun a pequeñas elevaciones es una cantidad apreciable, que puede medirse con instrumentos acomodados.

El horizonte abrazará tambien una porcion tanto mayor de la superficie terrestre, cuanto mas nos elevemos sobre ella; i sin embargo, el espacio que abraze, nos parecerá menor i menor, porque se medirá por un ángulo cuyo ápice está en el ojo espectador, i cuyos lados, como las piernas de un compas, van acercándose mas i mas el uno al otro, a medida que nos elevamos. Esto se debe tambien a la esfericidad de la Tierra, i podemos percibirlo, con buenos instrumentos, aun a pequeñas alturas.

### 3.

La figura de la Tierra se acerca mucho a la de una esfera perfecta. Los montes que nos parecen dar una forma tan irregular a su superficie, son, respecto de su magnitud, como las pequeñas asperezas de la corteza de una naranja, comparadas con el tamaño de esta fruta. No hai en esto la menor exageracion. La altura del Dhawalagiri, que pertenece a la cordillera de Himalaya, i es el monte mas elevado que se conoce, no es

igual a  $\frac{1}{1600}$  del diámetro de la Tierra (a). Si representamos pues la Tierra por un globo de 16 pulgadas de diámetro, el monte mas alto seria representado en él por una protuberancia de un centésimo de pulgada, i no haria mas vulto que un menudo grano de arena. La mina mas profunda seria como una picada de alfiler, imperceptible a la simple vista (b). Y siendo probable que la mayor profundidad del mar no excede a la mayor elevacion de los continentes, el Océano, reducido a la misma escala, seria como la delgada capa de líquido que un pincel mojado dejase sobre la superficie de ese globo.

Lo que hace que la figura de la Tierra no sea perfectamente esférica, no es tanto la irregularidad de sus montes y valles, como el estar, segun despues veremos, algo comprimida ó achatada en dos puntos opuestos llamados *polos*. No son pues iguales entre sí todos los diámetros de la Tierra, como debieran serlo en una esfera perfecta. Pero este achatamiento no hace una diferencia de  $\frac{1}{300}$  del diámetro máximo, i en el globo de que hemos hablado seria como de 5 a 6 centésimos de pulgada.

#### 4.

Quando subimos a grandes alturas, experimentamos sensaciones desagradables, porque no respiramos suficiente cantidad de aire a causa de la menor densidad de este fluido a medida que nos elevamos en él. Si la densidad del aire se mantuviese siempre una misma, a diferencias iguales de altura corresponderian diferencias iguales en el peso de la atmósfera superincumbente. Subiendo a una altura de 1.000 piés ingleses (c) dejamos debajo de nosotros un treintavo de toda la masa atmosférica, segun nos lo indica el barómetro. Subiendo pues a 2.000 piés, deberíamos dejar dos treintavos; a 3.000 piés, tres treintavos; i así sucesivamente. Pe-

(a) Algunos hacen subir la altura del Dhawalagiri hasta 8.556 metros, que es algo mas de un mil-i-seiscientos-avo del diámetro terrestre; pero no se puede mirar con tanta confianza esta medida como la del Jawagir en la misma cordillera (7.848 metros), que es la cumbre mas alta que ha podido medirse con exactitud. En Bolivia el Sorata sube á 7.696 metros, y el Illimani á 7315, descollando ámbos sobre el Chimborazo (6.530,) y todos ellos sobre el Monte-Blanco de Europa (4808). (Humboldt, *Cosmos*).

(b) Segun Humboldt en su obra citada, las escavaciones naturales y artificiales han llegado apénas á 650 metros de profundidad bajo el nivel del mar. La mas honda conocida es acaso la de un pozo artesiano cerca de Minden en Prusia, que en 1844 era de 607 metros. Caminando de Jerusalem ácia el Mar Muerto anda el viajero á cielo descubierto sobre capas de roca que tienen 422 metros de profundidad bajo el nivel del Mediterráneo.

(c) El pié inglés tiene 0.305 metros (Maltebrun). La vara castellana es al metro como 836 á 1.000.

ro no es esto lo que sucede. El aire es, como todos los gases, extremadamente comprensible; i las capas inferiores, teniendo que soportar todo el peso de las superiores, están sucesivamente mas comprimidas: de que se sigue que la densidad de una columna atmosférica debe ir disminuyendo progresivamente desde la superficie de la Tierra hasta las regiones mas elevadas de la atmósfera. En efecto, a 10.600 piés ingleses de elevacion (algo ménos que la de la cumbre del Etna) tenemos debajo de nosotros un tercio de la masa atmosférica, i a 18.000 piés (próximamente la altura del Cotopaji) tenemos debajo la mitad; en lugar de 353 milésimos que corresponderian a la primera altura, i 600 milésimos a la segunda. Por cálculos fundados en observaciones i experimentos se demuestra, que subiendo mas todavía, el peso de la atmósfera superincumbente seria cada vez mas i mas de lo que correspondiese a la altura perpendicular. El aire pues se va enrareciendo segun nos elevamos sobre la superficie de la Tierra, i su enrarecimiento es cada vez mas rápido. Por los mismos cálculos se demuestra que a la altura de un centésimo del diámetro terrestre, ó de 125.000 metros, poco mas ó ménos, la tenuidad del aire es tan grande que ni la combustion ni la vida animal podrian subsistir en él, i nuestros mas delicados medios de apreciar una cantidad de este flúido, no nos darian indicio alguno de su presencia. Por tanto, los espacios que se elevan a mayor altura que la de 125.000 metros, pueden mirarse como vacíos de aire, y consiguientemente de nubes; pues estas son meros agregados de vapores que flotan en el flúido atmosférico i lo enturbian. Parece por muchas indicaciones que la mayor elevacion de las nubes apenas pasa de 9 millas geográficas ó 16 a 17.000 metros: el peso del aire es allí como una octava parte del que tiene al nivel del mar (d).

La atmósfera es, por lo dicho, como un océano aéreo cuya densidad disminuye rápidamente a medida que nos elevamos en él, hasta un límite en que ya no nos seria posible percibir su existencia. Este océano, en comparacion del globo terráqueo, es como la peluza de un durazno mediano, comparada con el volúmen de esta fruta.

El aire, a pesar de su aparente diafanidad, intercepta la luz i la refleja, como los otros cuerpos. Pero siendo pequeñísimas y estando muy separadas unas de otras las partículas de que se compone, no podemos percibirlo por la vista, sino cuando se extiende en grandes masas que ocupan un vasto espacio. Entónces la multitud de rayos luminosos que

(d) Sir John Herschel. Arago en sus *Lecciones de Astronomía* (traduccion castellana) computa la altura media de la atmósfera en 16 á 17 leguas, que ha en como 73.000 metros: su volúmen en un veinte-i-nueve-avo del volúmen del globo; i la masa en 43 milésimos de la masa del mismo.

las partículas aéreas reflejan, produce en nuestros ojos una impresión sensible, i vemos su color, que es azul. De aquí el tinte azulado de los objetos entre los cuales i nosotros se interpone una gran masa de aire. Este tinte colora los montes lejanos; i es tanto mas vivo, cuanto a mayor distancia se hallan. Así, para pintar los objetos lejanos, es preciso *apagarlos*, esto es, debilitar mas ó ménos sus matices propios, tiñéndolos de azul. Es tambien el color propio del aire el que atribuimos a la bóveda esférica que el vulgo llama cielo, i en que parecen estar clavados los astros; pero que en realidad es una mera ilusion de la vista. Elevándonos en la atmósfera, pierde este color su brillo; en la cumbre de un alto monte, o en un globo aerostático mui elevado, el cielo parece casi negro.

## 5.

El aire, como los otros cuerpos transparentes, tiene la propiedad de refractar ó quebrar los rayos de luz que los objetos nos envían, i por medio de los cuales los vemos. Los rayos de luz que nos envía, por ejemplo, una estrella se mueven en línea recta hasta llegar a los últimos límites de la atmósfera, i al penetrar en ella se doblan acia abajo; inflexion inapreciable al principio por la tenuidad extrema de las mas altas capas atmosféricas, pero gradualmente mayor, segun crece la densidad del aire. Variando pues continuamente de direccion segun pasan por las diversas capas  $A''' A'' A' A$  (fig. 1), que suponemos forman una serie continua, en que cada capa es de un grueso infinitesimal, describen una curva  $SR'''R''R'O$ , cóncava acia la superficie de la Tierra. Los rayos de luz  $SR'''R''R'O$ , que despues de sufrir esta refraccion llegan al observador en  $O$ , son los únicos por los cuales le es visible la estrella; i como es una lei de la naturaleza que veamos los objetos en la direccion en que nos hieren los rayos que nos vienen de ellos, se sigue que el observador ve la estrella en la última direccion de los rayos que se la hacen visible. Esta última direccion es la de una línea recta  $OS'$  tangente a dicha curva en  $O$ , i terminada, no en el lugar verdadero de la estrella, como sucederia si los rayos no hubiesen sufrido inflexion alguna, sino en un punto de la esfera celeste, situado mas arriba que la estrella. Por consiguiente vemos la estrella, no en su lugar verdadero, sino en otro mas cercano al zenit.

Si nos figuramos un plano vertical  $OSC$ , que pasa por un objeto celeste, por el ojo observador i por el centro de la Tierra, este objeto en virtud de la refraccion se acercará al zenit; pero sin salir de aquel plano; a lo ménos en circunstancias ordinarias. La refraccion

no altera pues la posición de los objetos, sino relativamente a su altura angular sobre el horizonte. En el zenit es nula; crece con la distancia angular de los objetos al zenit; i el incremento es mas rápido cuanto mas se acercan al horizonte, donde llega a su máximo, que es una cantidad algo mas grande que el diámetro aparente del sol o la luna. Así, cuando vemos que uno de estos astros toca por su borde inferior al horizonte, todo su disco está en realidad debajo, i la convexidad de la Tierra no nos dejaria verlo a no ser por la refracción.

De lo dicho se sigue que cuando vemos un objeto celeste que no está en el zenit, es necesario deducir de su altura aparente el efecto de la refracción, para saber donde está realmente. Hácese esa deducción por medio de tablas que los astrónomos han construido al intento.

Otro efecto de la refracción es desfigurar las formas i proporciones de los objetos que se ven a poca distancia del horizonte. El sol, por ejemplo, que a una altura considerable parece redondo, cerca del horizonte parece de una figura ovalada, en que el diámetro vertical es menor que el horizontal, i el borde superior ménos chato que el inferior. El sol i la luna nos parecen tambien de mayor volúmen, i se nos figura que las constelaciones se estienden sobre mas ancho espacio, cuando estan muy cerca del horizonte (e); pero no se debe a la refracción este efecto, sino a nuestra imaginación sola. La parte del hemisferio celeste visible, que está cercana al horizonte, se nos figura por la interposición de los objetos terrestres, mas distante que la parte cercana al zenit; i supuesto que en la estima que hacemos de la magnitud de un objeto entra como elemento su distancia, el sol, la luna i las constelaciones deben parecernos mayores en la cercanía del horizonte, que cuando los vemos aislados en la inmensidad de los cielos.

A este juicio erróneo que formamos sobre la magnitud de los objetos celestes colocados cerca del horizonte, acompaña otro efecto, i es el de amortiguarse su brillo, porque los rayos luminosos que nos envían tienen que atravesar entonces una región atmosférica mucho mas densa i vaporosa.

Siempre que un rayo de luz pasa oblicuamente de una capa atmosférica a otras de diferente densidad, su curso no es rectilíneo sino curvo; de que se sigue que todo objeto que se vea por medio de ese rayo, aparecerá desviado de su verdadero lugar, sea que, como todos los objetos

(e) Esta aprensión nuestra es particularmente digna de notarse respecto de la luna, cuyo diámetro aparente, medido con exactitud, es mayor en el zenit que en el horizonte, por estar allí a ménos distancia de nosotros.



celestes, esté situado fuera de la atmósfera, o que se halle sumerjido en ella, como la cima de un monte mirada desde un valle, o como la cúspide de una torre, mirada desde una cumbre que la domina.

Toda diferencia de nivel, acompañada, como no puede ménos de estarlo, de una diferencia de densidad en las capas aéreas, debe producir cierta cantidad de refraccion, i cierto desvío visual. La de los objetos colocados fuera de la atmósfera, se llama *refraccion astronómica*; la de los objetos sumerjidos en ella, *refraccion terrestre*.

## CAPITULO II.

### ESFERA CELESTE.

1. *Espectáculo del cielo.* 2. *Esfera celeste; estrellas fijas.* 3. *Rotacion de la esfera; eje, polos; línea equinoccial.* 4. *Paralelos.* 5. *Horarios.* 6. *Declinacion; ascencion recta.* 7. *Horizonte sensible i horizonte racional.* 8. *Meridiano celeste.* 9. *Puntos cardinales, i puntos medios de cuadrante i octante.* 10. *Varias posiciones de la esfera celeste respecto de los varios horizontes.* 11. *Altitud i azimut.* 12. *Puntos i líneas de la Tierra, análogos a los de la esfera celeste: eje, polos, ecuador, meridiano i paralelos terrestres.* 13. *Latitudes i longitudes de los diferentes parajes de la Tierra.* 14. *Constelaciones; via láctea; estrella polar*

#### 1.

Si en la tarde de un dia claro nos colocamos en una situacion descubierta, desde donde pueda verse gran parte de la esfera celeste, observaremos que despues de ponerse el sol apuntan en el cielo acá i allá estrellas de varias magnitudes: solo las mas brillantes llamarán nuestra atencion. miéntras dura el crepúsculo; i sucesivamente aparecerán otras i otras al paso que la oscuridad se acreciente, quedando al fin tachonado de ellas todo el firmamento. Cuando hayamos admirado la serena magnificencia de este grandioso espectáculo, tema de tantas meditaciones poéticas i filosóficas, fijémonos particularmente en algunas estrellas que por su brillantez puedan fácilmente conocerse, i refiramos su situacion aparente a los objetos que nos rodean, como paredes, pilares, árboles. Si despues de una hora o dos las referimos otra vez a sus puntos de comparacion, percibirémos que han mudado de lugar, caminando todas, como con un movimiento comun, de oriente a occidente; i si seguimos observando, echarémos de ver que al fin se hunden i

desaparecen por el lado occidental del horizonte; al paso que por el lado oriental se ven levantarse otras, que se agregan a la procesion general, tomando el mismo rumbo que las primeras.

## 2.

Repitiendo nuestras observaciones encontraremos que este movimiento es en casi todos los astros uniforme, como si realmente estuviesen clavados en la concavidad de una grande esfera hueca, que diese vueltas alrededor de un eje. Los astros que se mueven con esta perfecta uniformidad, sin variar de situacion entre sí, se llaman *estrellas fijas*, o simplemente *estrellas*.

## 3.

De la esfera celeste, o cielo estrellado, no podemos ver en un momento dado mas que una sola mitad o hemisferio, i aun para ver esa mitad seria necesario que nos hallásemos en medio del mar o de una llanura que hiciese por todas partes horizonte (f).

Pero en el espacio que la vista abraza podemos notar fácilmente la rotacion general que imprime un movimiento comun a todos los astros. El *eje*, o línea recta imaginaria alrededor de la cual se mueven, es de una largura inmensurable, de manera que cualquier punto de la superficie de la Tierra, en que se halle el observador, se puede considerar como indiferente respecto de la esfera celeste, i como identificado con el centro mismo de la Tierra. Termina este eje en dos puntos opuestos de la esfera llamados *polos*: el uno visible para los habitantes de Chile i de una gran parte de la América Meridional; el otro visible para los habitantes de Venezuela, de Nueva Granada, de Méjico, de los Estados Unidos de América, de toda la Europa.

Al polo que está sobre nuestro horizonte llamamos *austral*, i al opuesto *boreal*, porque desde ellos parecen soplar los vientos que los antiguos llamaban *Austro* i *Bóreas*. El polo boreal se llama tambien *ártico* (de la palabra griega *arctos*, *osa*, nombre dado a una constelacion o grupo de estrellas colocado en aquella region del cielo), i *septentrional* (de *septem triones*, los siete trilladores, los siete bueyes, denominacion con que fué conocido el mismo grupo de estrellas entre los romanos). Al polo austral, por su oposicion al boreal o ártico, se le da tambien el nombre de *antártico*.

(f) Prescíndese de la depresion del horizonte i de la refraccion.

Ese eje ideal del universo, que segun se ha dicho, pasa por el centro de la Tierra, taladra, por decirlo así, la superficie de esta en dos puntos opuestos que se llaman *polos terrestres*. El que está del lado del polo austral del cielo se llama polo *sur*, i el que está del lado opuesto, polo *norte*: aplícanseles tambien las mismas denominaciones que a los respectivos de la esfera estrellada, a los cuales suelen darse a su vez las de *sur* i *norte*. La línea que une los dos polos terrestres es el *eje de la tierra*, el cual, por consiguiente, es una parte del eje de la esfera celeste.

Figurémonos ahora un círculo máximo de la esfera, perpendicular al eje, esto es, equidistante de los polos. La circunferencia de este círculo dividirá la esfera en dos hemisferios: el hemisferio *austral* i el hemisferio *boreal*. Este círculo máximo se llama *ecuador celeste*, o *línea equinoccial*.

#### 4.

Las estrellas, en el movimiento de rotacion de la esfera, describen círculos *paralelos* entre sí i al ecuador. Todos estos *paralelos* varian mucho en sus magnitudes, que yendo del ecuador a los polos son progresivamente menores. El horizonte divide el ecuador en dos porciones iguales; la una superior, patente a la vista, ménos en cuanto algun objeto terrestre la intercepte; la otra inferior, i por tanto invisible. Los círculos paralelos (generalmente hablando) son divididos desigualmente por el horizonte, i la desigualdad de los segmentos superior e inferior es mas grande en cada paralelo a medida que se aleja del ecuador, donde es cero.

Yendo del ecuador al polo visible, la porcion superior de cada paralelo va siendo progresivamente mas grande, i la estrella que lo describe permanece a nuestra vista en una parte cada vez mayor de su curso. Pero hai un límite en que la porcion inferior es como un punto: el paralelo i su estrella no hacen mas que rozarse con el horizonte. Mas allá los paralelos son visibles en toda su circunferencia, i las estrellas respectivas, dando vueltas alrededor del polo, no se nos esconden jamas, i solo dejamos de verlas porque se interpone algun objeto sobre la superficie de la Tierra, o porque desaparecen ofuscadas por el esplendor de los rayos solares.

Yendo del ecuador acia el polo invisible (que es para nosotros los chilenos el boreal) sucede todo lo contrario. La porcion superior de cada paralelo va siendo progresivamente mas pequeña, i la estrella que lo describe nos oculta una parte cada vez mayor de su curso. Pero hai un límite en que la porcion superior es como un punto; el paralelo no ha-

ce mas que rozarse con el horizonte; i la estrella se deja ver un instante para ocultárenos de nuevo. Mas allá, los paralelos están enteramente fuera de nuestro alcance; i sus estrellas, dando vueltas alrededor del polo invisible, no se nos manifiestan jamás.

En virtud del movimiento comun de rotacion, que es uniforme, todas las estrellas describen arcos semejantes en tiempos iguales; i por tanto, el tiempo que cada estrella permanece sobre el horizonte es, exactamente, como la porcion o segmento superior de su paralelo. Entendemos por arcos semejantes los que constan de igual número de grados i partes de grado. La circunferencia de cada círculo se divide, como todos saben, en 360 grados; cada grado en 60 minutos; cada minuto en 60 segundos. La subdivision del segundo es por fracciones decimales.

### 5.

Llámase *horario* de una estrella un círculo máximo que pasa por ella i por los polos. Es evidente por esta definicion que los horarios de todas las estrellas cruzan el ecuador o línea equinoccial en ángulos rectos:

### 6.

Se determina la posicion de una estrella en la esfera celeste, conociendo su distancia al ecuador i la posicion de su horario. La distancia a que una estrella está del ecuador, se llama *declinacion*, i se mide por el número de grados de su horario, interceptados entre su paralelo i el ecuador, distinguiendo si la declinacion es austral o boreal. Así la estrella Sirio, la mas hermosa del cielo, está (1.º de Enero de 1843) a  $16^{\circ} 30' 20''$ . 69 (diez i seis grados, treinta minutos, veinte segundos, i sesenta i nueve centésimos) de declinacion austral (g); i la estrella polar, llamada así en el hemisferio boreal por su proximidad al polo, a  $88^{\circ} 28' 20''$ . 38 de declinacion boreal (h).

La posicion del horario de una estrella se determina con relacion a un primer horario convencional. Despues lo designaremos; baste por ahora saber que la distancia entre el primer horario i el horario de una estrella se llama *ascension recta*, i se mide por el número de grados del ecuador interceptados entre los dos horarios. La ascension recta se cuenta de occidente a oriente, desde cero hasta 360 grados, o mas bien, desde cero hasta 24 horas, correspondiendo a cada hora 15 grados, i subdivi-

(g) En 1.º de Enero de 1843 a  $16^{\circ} 30' 43''$ . 49: (*Nautical Almanac*).

(h) En 1.º de Enero de 1843 a  $88^{\circ} 29' 56''$ . 72: (*Nautical Almanac*.)

diendo la hora en minutos, segundos i decimales de segundo, como el grado. La ascension recta de Sirio es (1.º de Enero de 1843) 6h 38m 13s 905 (seis horas, treinta i ocho minutos, trece segundos, novecientos i cinco milésimos de segundo) (i). El primer horario (1.º de Enero de 1843) está pues al occidente de la estrella *Sirio*, i dista de ella 6h 38m 13s 905, medidos en el ecuador.

## 7.

Digimos que el horizonte divide la esfera celeste en dos partes iguales o hemisferios. Pero esto no parece enteramente exacto. Porque supongamos que el círculo  $ABDF$  (fig. 2) representa la Tierra, i la circunferencia  $ZHNH'$  la esfera celeste. El centro de ámbas es un mismo punto  $C$ , i la línea  $hAh'$ , tanjente a la Tierra en  $A$ , corresponde al horizonte del punto  $A$ , el cual horizonte divide la esfera, no en dos mitades, sino en dos porciones desiguales; porque la superior  $hZh'$  es necesariamente mas pequeña que la inferior  $hNh'$ . Pero la diferencia entre estas dos porciones no parece importante, sino porque la esfera celeste se figura aquí poco mayor que la Tierra. Cuanto menor sea  $ABDF$  respecto de  $ZHNH'$ , tanto ménos importará la diferencia; i si la primera es como un punto respecto de la segunda, la diferencia será nula. Recíprocamente, si las observaciones nos manifiestan que la diferencia es absolutamente imperceptible, i que en un horizonte despejado no se nos oculta ninguna parte del hemisferio superior, aun eliminados los efectos de la depression i de la refraccion, como realmente sucede; es preciso reconocer que el globo de la Tierra es como un punto respecto de la distancia inmensa a que se hallan de nosotros las estrellas. Todos los fenómenos astronómicos lo confirman. Por ahora nos limitaremos a uno solo. Miradas las estrellas con telescopios de grande alcance no presentan un disco cuya magnitud pueda apreciarse, i aparecen como meros puntos luminosos. Para que disminuyéndose como doscientas veces su distancia, no percibamos un aumento sensible en su diámetro aparente, es menester que estén inconcebiblemente léjos. La Tierra es pues como un punto comparada con esta distancia estupenda; i por consiguiente podemos suponer que, relativamente a las estrellas, el plano  $hAh'$  que toca a la Tierra en  $A$ , se confunde con el plano  $HCH'$  que es paralelo al primero, i pasando por el centro de la Tierra divide la esfera celeste en dos partes exactamente iguales. Decimos *relativamente a las estrellas*; porque respecto de los demas astros seria necesario distinguir el *horizonte sensible*

(i) En 1.º de Enero de 1848, 6h 38m 27s 046: (*Nautical Almanac*.)

hAh' tanjente a la Tierra en el paraje donde está situado el espectador, i el *horizonte racional* HCH', que es paralelo al horizonte sensible, i pasa por el centro de la Tierra.

Siendo la Tierra como un punto respecto de la esfera celeste, el eje alrededor del cual gira esta, pasa por el centro de la Tierra, al mismo tiempo que parece pasar en cada horizonte por el ojo espectador.

## 8.

Llámase *meridiano celeste*, con respecto a cada lugar de la Tierra, un círculo máximo que es perpendicular al horizonte, i pasa por los polos de la esfera celeste. El horizonte lo divide en dos semicírculos, *superior e inferior*.

Siendo vertical, o perpendicular al horizonte, pasa tambien necesariamente por el zenit; i dirigiéndose de polo a polo, ya se echa de ver que a cada meridiano corresponden tanto número de horizontes distintos como puntos puedan concebirse sobre la Tierra en una línea que corra directamente de sur a norte.

Algunos dan el nombre de meridiano, no al círculo entero, sino al semicírculo superior. Cuando se dice absolutamente que un astro pasa *por el meridiano* de un lugar, se entiende que cruza el semicírculo superior, que es el solo visible.

La interseccion del plano del meridiano celeste con el plano del horizonte, se llama *meridiana*.

Cada meridiano celeste es tambien perpendicular a todos los paralelos i al ecuador, i divide cada paralelo en dos semicírculos; de que se sigue que en el período de una rotacion de la esfera, que es algo ménos de veinticuatro horas, cada estrella pasa dos veces por la circunferencia del meridiano; i como el movimiento de la esfera es uniforme, se sigue tambien que cada estrella gasta tiempos exactamente iguales en recorrer los dos semicírculos de su respectivo paralelo.

Las estrellas que hacen una parte de su carrera bajo el horizonte, pasan una vez sola por el semicírculo superior del meridiano, i entónces se dice que *culminan*. Las estrellas que hacen toda su carrera sobre el horizonte, cortan este semicírculo dos veces, i culminan cuando se hallan en el punto de interseccion mas cercano al zenit.

## 9.

El ecuador i el meridiano determinan para cada horizonte los cuatro puntos cardinales. Las intersecciones de la circunferencia del ecuador

dor con la del horizonte, fijan por una parte al *este, oriente o levante*, que es la interseccion que está del lado en donde nacen los astros; i por otra parte el *oeste, occidente, poniente, u ocaso* que es la interseccion que está del lado por donde los astros se ponen. De las intersecciones del meridiano con el horizonte, la que corresponde al polo austral es el verdadero *sur*, i la que corresponde al polo boreal el verdadero *norte*.

El este i el oeste, el sur i el norte, son los cuatro puntos cardinales del horizonte. El sur dista del este  $90^\circ$  medidos en la circunferencia del horizonte; entre el este i el norte median otros  $90^\circ$ ; otros  $90^\circ$  entre el norte i el oeste; otros  $90^\circ$  entre el oeste i el sur. Los puntos medios de cada cuadrante, i luego los de cada octante, i cada diez-i-seis-avo de la circunferencia, se denominan combinando las palabras *este, oeste, sur i norte*, de la manera que aparece en la lista siguiente, que manifiesta el orden de estos puntos i las abreviaturas de sus nombres:

Sur, S.

Sur, cuarta al sudeste, Sur  $\frac{1}{4}$  SE.

Sudsudeste, SSE.

Sudeste, cuarta al sur, sudeste  $\frac{1}{4}$  S.

Sudeste, SE.

Sudeste, cuarta al este, SE  $\frac{1}{4}$  E.

Estsudeste, ESE.

Este, cuarta al sudeste, E  $\frac{1}{4}$  SE.

Este, E.

Este, cuarta al nordeste, E  $\frac{1}{4}$  NE.

Estnordeste, ENE.

Nordeste, cuarta al este, NE  $\frac{1}{4}$  E.

Nordeste, NE.

Nordeste, cuarta al norte, NE  $\frac{1}{4}$  N.

Nornordeste, NNE.

Norte cuarta al nordeste, N  $\frac{1}{4}$  NE.

Norte, N.

Norte, cuarta al noroeste, N  $\frac{1}{4}$  NO.

Nornoroeste, NNO.

Noroeste, cuarta al norte, NO  $\frac{1}{4}$  N.

Noroeste, NO.

Noroeste, cuarta al oeste, NO  $\frac{1}{4}$  O.

Oestnoroeste, ONO.

Oeste, cuarta al noroeste, O  $\frac{1}{4}$  NO.

Oeste, O.

Oeste, cuarta al sudoeste, O  $\frac{1}{4}$  SO.

Oestsudoeste, OSO.

Sudoeste, cuarta al oeste,  $SO \frac{1}{4} O$ .

Sudoeste, SO.

Sudoeste, cuarta al sur,  $SO \frac{1}{4} S$ .

Sudsudoeste, SSO.

Sur, cuarta al sudoeste,  $S \frac{1}{4} SO$ .

Sur, S.

Entre cada punto i el inmediato la distancia angular es un treinta-i-dos-avo de la circunferencia, u once grados quince minutos. Las direcciones señaladas por estos puntos se llaman rumbos o vientos, i el conjunto de todas ellas se representa por una estrella de 32 rayos llamada *Rosa Náutica*

## 10.

Fácil es por lo dicho formar idea de la posicion de la esfera celeste respecto de los diversos horizontes. El polo visible, el polo austral, tiene sobre el horizonte de Santiago  $33^{\circ} 27' 34''$  de altura medidos en el meridiano (j), i sobre el horizonte de Valparaiso,  $33^{\circ} 1' 58''$  (l), Así la posicion de la esfera celeste es respecto de nosotros *oblicua*; el ecuador i todos los paralelos celestes forman ángulos oblicuos con el horizonte.

Supongámos ahora que un habitante de Chile emprenda un viaje acia el norte. Su horizonte irá bajando continuamente delante de él, i subiendo detras; por el lado del norte el curso visible de las estrellas describirá cada dia segmentos mayores de los respectivos paralelos, i lo contrario sucederá por el lado del sur: cada dia verá aparecer por el lado del norte estrellas que ántes le eran desconocidas, i por el lado del sur verá esconderse algunas de aquellas que jamas se le perdian de vista: la visita de las primeras i la ausencia de las segundas será cada dia mas larga.

Durante todo este tiempo el eje de la esfera celeste se ha mantenido oblicuo al horizonte aunque acercándosele cada dia mas. La altura del polo visible es cada dia menor. Llega al fin un momento en que nuestro viajero tiene ambos polos en el horizonte, el uno delante, el otro a su espalda. El eje de la esfera es ya una línea horizontal, i el horizonte divide en dos partes iguales todos los paralelos de las estrellas, formando ángulos rectos con ellos i con el ecuador, que pasa ahora por el zenit. La posicion de la esfera es *recta*.

(j) Nota manuscrita de don Claudio Gay.

(l) Segun el capitán Fitzroy.



Nuestro viajero continúa caminando hacia el norte; el polo ártico se le hunde bajo el horizonte, i el polo boreal es el solo visible. La posicion de la esfera es oblicua otra vez, pero en sentido contrario. Por el lado del norte el segmento visible de cada paralelo es mayor que un semicírculo, i por el lado del sur es menor. La desigualdad crece cada dia mas. Ciertas estrellas boreales hacen todo su jiro sobre el horizonte, i ciertas estrellas australes debajo: el número de unas i otras aumenta. Durante todo este tiempo el eje, el ecuador i todos los paralelos se mantienen oblicuos, acercándose el eje a la vertical, i el ecuador al horizonte. I si nuestro viajero pudiese caminar indefinidamente hacia el norte, llegaría por fin el momento en que el horizonte coincidiría con el ecuador, el eje con la vertical, el polo boreal con el zenit; no habría puntos cardinales, i las estrellas jirarían al rededor del polo en círculos paralelos al horizonte, siendo perpetuamente visibles todas las del hemisferio boreal, i perpetuamente invisibles las del otro hemisferio. Esta es la posicion *paralela* de la esfera.

Si concebimos que nuestro viajero sigue navegando sin mudar de direccion, volverá otra vez a la posicion oblicua; pero la direccion que llevaba al norte se le habrá cambiado en direccion al sur; verá nacer los astros a su mano izquierda i ponérsele a la derecha: bajará el polo ártico; en suma se le reproducirán en órden inverso las mismas apariencias de la esfera celeste.—Solo para los dos horizontes cuyo zenit se confunde con el polo visible, puede ser paralela la esfera; es recta para solo aquellos cuyo zenit coincide con el ecuador; para todos los demas el eje, i por consiguiente el ecuador, están inclinados al horizonte, i la posicion de la esfera es oblicua; ya austral, ya boreal, segun lo fuere el polo visible.

## 11.

Solo resta dar a conocer los círculos *verticales*, llamados tambien *azimutales*; círculos máximos de la esfera celeste, que pasan por el zenit i el nadir. Por consiguiente son perpendiculares al horizonte. Mídese en ellos la altura de los objetos sobre el horizonte, llamada propiamente *altitud*, i su distancia al zenit, que se denomina *distancia zenital*.

El *azimut* de un objeto celeste es la distancia angular entre el círculo vertical del objeto, i el meridiano del observador, medida en la circunferencia del horizonte.

Claro es que la posicion de un objeto, sobre el horizonte, se determina por estos dos datos, altitud, i azimut oriental u occidental.

## 12.

El eje celeste pasando por dos puntos opuestos de la superficie de nuestro globo i por su centro, forma, como digimos ántes, *el eje de la Tierra*: estos dos puntos opuestos son los dos polos terrestres *sur* i *norte*.

De la misma manera, el plano del ecuador celeste, cortando la superficie de la Tierra traza sobre su superficie un círculo máximo, equidistante de los polos, i perpendicular al eje. Este círculo máximo es el *ecuador terrestre*. Por *ecuador* se entiende hoy mas comunmente el de la Tierra, i por *línea equinoccial* el del cielo.

Concíbase que por los dos polos i por cada punto de la Tierra pasa un círculo máximo, dividido por el ecuador en dos partes iguales, una boreal i otra austral—Estos círculos serán los *meridianos* de la Tierra, análogos a los horarios de las estrellas. El meridiano de cada lugar de la Tierra está en el mismo plano que su meridiano celeste, o en otros términos, es la línea trazada sobre la superficie terrestre por la interseccion del meridiano celeste con ella.

Concíbase tambien que por cada punto de la Tierra pasa un círculo paralelo al ecuador. Es evidente que del ecuador a los polos todos los *paralelos* de la Tierra serán progresivamente menores, como en la esfera celeste los paralelos de las estrellas.

## 13.

Se determina la posicion de cada lugar de la Tierra, conociendo su distancia angular al ecuador, i la posicion de su meridiano. La distancia angular al ecuador se llama *latitud*, i se mide por el número de grados de un meridiano cualquiera interceptados entre el ecuador i el paralelo del respectivo lugar de la Tierra; pero debe distinguirse si la latitud es al sur o al norte, lo cual se hace por medio de las iniciales de las palabras *norte* i *sur*, o respectivamente con los signos † i —. Así Santiago está situado a  $33^{\circ} 27' 34''$  S, o bien a  $-33^{\circ} 27' 34''$ . La posicion del meridiano de un lugar se determina con relacion a un primer meridiano convencional, que ordinariamente es el de alguno de los mas célebres observatorios, como el de Paris o Greenwich. La distancia entre el primer meridiano i el meridiano del lugar se denomina *longitud*, i se determina por el número de grados del ecuador o de cualquier paralelo interceptados entre los dos meridianos. Cuéntase la longitud desde cero hasta  $180^{\circ}$ ; distinguiendo si es oriental u occidental, esto es, si se cuenta de occidente a oriente, o de oriente a occidente, i señalándola con las iniciales de las

palabras *este* i *oeste*. La longitud de Santiago, por ejemplo, es de  $70^{\circ} 58' 41''$  O, del meridiano de Greenwich (ll). Cuéntase tambien la longitud por horas, a razon de 15 grados en hora, señalando con el signo positivo la longitud occidental, i con el negativo la oriental. La de Santiago, contada así, seria, respecto del mismo meridiano, + 4h 43m 54s. 73.

A la regularidad sistemática convendria (dice Sir John Herschel) que las longitudes se contasen invariablemente ácia el oeste, desde cero hasta  $360^{\circ}$  o hasta 24h. Así la longitud de Paris, que segun el modo comun de hablar es (con respecto a Greenwich)  $2^{\circ} 20' 23''$  E, o bien— 0h 9m 21s. 5 (m), debiera espresarse (omitiendo como innecesarios los signos distintivos O i—) por  $357^{\circ} 39' 37''$ , o 23h 50m 38s. 5.

Las longitud i latitud de los varios puntos de la tierra son análogos a lo que se llama ascension recta i declinacion en las estrellas.

#### 14.

Las estrellas han sido distribuidas en diferentes grupos o *constelaciones*, a que se han dado los nombres de osa, serpiente, dragon, ballena, paloma, balanza, i otros igualmente arbitrarios, entre ellos los de varios personajes mitológicos, como Hércules, Orion, Andrómeda. Estos nombres significan objetos que tienen poca o ninguna semejanza con las respectivas constelaciones, i no dan ninguna idea de la recíproca colocacion de las estrellas, ni prèstan el menor auxilio a la memoria. Los astrónomos hacen poco caso de las constelaciones, excepto para la designacion de las estrellas que carecen de nombre propio, la cual se hace por las letras del alfabeto griego, unidas a los nombres de las constelaciones, como la *alpha* de la Ballena, la *beta* del Escorpion, &c. Cuando las letras no bastan, se recurre a los números.

Solo hai un distrito natural en el cielo; que es la *via láctea*; gran zona luminosa, que atraviesa el cielo todo de horizonte a horizonte, i observada con atencion se ve que ciñe, como una faja, toda la esfera celeste, casi en la direccion de un círculo máximo, pero que ni es horario, ni coincide con otra alguna de las delineaciones uranográficas. Ábrese en una parte de su curso, echando una rama que separada del tronco por un espacio de  $150^{\circ}$ , vuelve despues a juntarse con él. Esta notable faja ha mantenido desde la mas remota antigüedad la posicion en que la vemos hoy; i examinada con poderosos telescopios, se ha descubierto que se com-

(ll) Nota manuscrita de don Claudio Gay.

(m) *Nautical Almanac* para 1848.

pone enteramente de estrellas derramadas a millones, como una arenilla brillante, sobre el fondo negro del cielo.

Hai a mui poca distancia del polo ártico una estrella, que por ser de mas que mediana magnitud, i porque a causa de su vecindad al polo se mantiene en una situacion casi invariable respecto del horizonte, ha servido largo tiempo de faro a los navegantes en los mares del hemisferio boreal. Esta es la estrella *polar*, que hemos mencionado en otra parte. El hemisferio austral del cielo, aunque poblado de astros luminosos, está comparativamente desierto en las inmediaciones del polo. Ninguna estrella polar antártica dirige el rumbo del gaucho en sus correrías por las dilatadas pampas de Buenos-Aires.

### CAPITULO III.

#### IDEA MAS EXACTA DEL GLOBO TERRÁQUEO.

1. *Movimiento de rotacion de la Tierra.* 2. *Tiempo que dura una rotacion completa de la Tierra: dia sideral.* 3. *Medida de las longitudes terrestres por el tiempo.* 4. *Medida de las latitudes.* 5. *Mapas.* 6. *Verdadera figura i dimensiones de la Tierra.* 7. *Pruebas físicas del movimiento rotatorio de la Tierra.* 8. *Continentes i mares.* 9. *Peso de la Tierra.*

#### 1.

Las apariencias de la esfera en su rotacion diaria al rededor de los polos, pueden esplicarse de dos modos: o suponiendo con el vulgo que la Tierra está inmóvil, i que las estrellas i los astros todos dan cada dia en el espacio una inmensa vuelta de oriente a occidente en torno a la Tierra, o que el movimiento de la esfera es solo aparente, siendo la Tierra la que jira sobre su propio eje en direccion contraria, esto es, de occidente a oriente. Lo único que puede alegarse en favor de la primera suposicion es que, si se moviese la Tierra, percibiríamos el movimiento, como lo percibimos en un carruaje o en una nave. Pero si la Tierra toda se mueve con todo lo que encierra i contiene, con el océano que la baña, con el aire que descansa sobre ella, i con las nubes que flotan en el aire; i si impelida por una fuerza igual i continua no encuentra en su movimiento resistencia ni obstáculo alguno; no viendo nosotros alterada la situacion de los objetos terrestres, ni sintiendo los vaivenes i traqueos que los carruajes i naves experimentan por las variaciones de las fuerzas motri-

ces i por los estorbos que se les oponen, no podremos percibir de modo alguno que la Tierra se mueve i nosotros con ella: la sola diferencia que notarémos consistirá en el movimiento aparente de otros cuerpos independientes de la Tierra, como son el sol, la luna i los demas astros. Así una nave que se desliza suavemente sobre un manso rio, apénas parece moverse; i yendo en ella se nos antoja que estamos quietos, i que los edificios i árboles de la ribera caminan en direccion contraria a la que nosotros llevamos. En la cámara de un buque, andamos, nos sentamos, leemos i ejecutamos todas las acciones acostumbradas, como si el buque no mudase de lugar; si tiramos una pelota acia arriba, vuelve a la mano; si la soltamos, cae a nuestros piés: los insectos revolotean al rededor; i el humo sube, como en nuestro hogar. A la verdad, sobre la cubierta del buque, como el aire no es trasportado con él, sentimos que nos bate la cara, i nos parece que se lleva el humo, las plumas i otros cuerpecillos lijeros en direccion contraria a la nuestra; pero esta es solo una traslacion aparente, figurada por la verdadera del buque; como la aparente retirada de la costa, cuando somos nosotros los que nos alejamos de ella.

Esto manifiesta lo poco que vale la objeccion que a veces se ha hecho contra el movimiento rotatorio de la Tierra, alegando que una piedra desprendida de lo alto de una torre no deberia caer al pié de ella, sino a mucha distancia, supuesto que durante la caida habria corrido el pié de la torre un espacio considerable, en virtud de la rotacion de la Tierra. Pero la esperiencia desmiente esta suposicion. Un cuerpo que se suelta o se arroja, participa del movimiento de la persona de cuya mano ha salido.

La ilusion debe ser pues perfecta i completa en la hipótesis del movimiento igual i continuo de la Tierra; los cuerpos que estan en conexion con ella, i que se mueven de un punto a otro de su superficie, harán sobre ella el mismo camino que si permaneciese inmóbil; i el sol, la luna, i las estrellas nos parecerán moverse de oriente a occidente, miéntras la Tierra da vueltas sobre sí misma en sentido contrario.

Pero si no merece crédito alguno el informe de los ojos en que se apoya la suposicion vulgar, o por mejor decir, si ese testimonio se presta igualmente a dos interpretaciones diversas, hai por otra parte una fuerte presuncion a favor de la teoría copernicana, que atribuye el movimiento de la esfera celeste a la Tierra. Siendo las estrellas cuerpos de dimensiones inmensas (pues de otro modo no pu-

diéramos verlas a tanta distancia), suspensos en el espacio, sin apoyo alguno, sin conexión material entre sí, ¿qué es lo que las imprime ese movimiento común, uniforme, de que participan también los demás astros, colocados entre ellas i nosotros? ¿I qué velocidad no sería preciso atribirles para que en ménos de veinticuatro horas describiesen círculos de tan estupenda magnitud, que el globo terráqueo sería comparado con ellos un átomo imperceptible? ¿No es mucho más natural i probable que sea la Tierra la que se mueve sobre sí misma en ese espacio de tiempo? Mas adelante veremos confirmada esta presunción con pruebas incontestables.

Por ahora nos ceñiremos a una. De dos cuerpos, dice Arago, que describen en un mismo tiempo dos circunferencias desigualmente distantes del eje de rotación, el que recorre la más distante, i por consiguiente la mayor de las dos, debe moverse con más velocidad que el otro. Supongamos que desde una altísima torre se deja caer un pedazo de plomo. Jirando la Tierra al rededor de su eje, la parte superior de la torre describe una curva mayor que el pié por hallarse a más distancia del eje, i se mueve por tanto con una velocidad superior, que se comunicará al pedazo de plomo; el cual en consecuencia no caerá verticalmente, sino que deberá desviarse un poco de la vertical acia el este; i así sucede en efecto.

Cuando hablamos pues de la esfera celeste i de su movimiento diurno, debe entenderse que solo tratamos de representar la mera apariencia de los fenómenos cosmográficos.

## 2.

El tiempo que emplea la Tierra en una rotación completa alrededor de su eje, es, en horas solares reducidas a un término medio, (pues, como veremos después hai variedad en la duración del día solar, i por consiguiente en la de cada una de las 24 horas en que se divide), 23h 56m 4<sup>s</sup> 09. Ese tiempo, llamado *día sideral* o *sidéreo*, es el que dura la rotación aparente de la esfera celeste, o en otros términos, el que transcurre entre dos tránsitos sucesivos de una estrella por un mismo meridiano (n). Hai por consiguiente entre el día sideral i el día solar medio la misma razón que entre 1 i 1.00273791, números que son aproximativamente el uno al otro como 359 a 360.

El día sideral se divide, como el solar, en 24 horas. Por consi-

(n) Un meridiano es aquí i en otras partes una misma semicircunferencia de meridiano; es a saber, la que está sobre el horizonte.

guiente, recorre cada estrella en cada hora sideral 15 grados, que hacen la vijésima cuarta parte de 360. Esto explica la division de la equinoccial en 24 horas. Una estrella que pasa por el meridiano precisamente 2 horas siderales despues que otra, tiene respecto de ella 2 horas o 30° de ascension recta, (que, como hemos visto, se cuenta de occidente a oriente), i dista del primer horario 2h o 30° mas que ella. Pudiera servir para la medida del tiempo sideral cualquiera estrella, cualquier objeto celeste que se moviese juntamente con la esfera. Pero los astrónomos han elegido un punto invisible, llamado *equinoccio*, situado en el ecuador celeste. Este punto determina la posicion del primer horario, i es el cero de la ascension recta. Hemos visto que la estrella Sirio está (1.º de Enero de 1843) a 6h 38m 13s. 905 de ascension recta (ñ). Por consiguiente, media este número de horas entre el equinoccio i la estrella Sirio: la estrella Sirio pasa por el meridiano 6h 38m 13s. 905 despues que el equinoccio.

Pero ¿cuál es el momento preciso en que se entiende que el dia sideral principia? Es el momento preciso en que el equinoccio pasa por el meridiano celeste. Así un reloj perfecto, que señale las horas siderales desde cero hasta 24, debe señalar *cero*, o lo que es lo mismo, 24, en el instante preciso de este tránsito. Por consiguiente, las horas siderales son diferentes en los diversos meridianos. El 1.º de Enero de 1843 el reloj sideral señalaba en Greenwich 18h 41m 57s, cuando los relojes arreglados al tiempo solar señalaban el medio-día, i en el observatorio de Paris era entónces 18h 50m 30s siderales,

### 3.

Como el equinoccio (i lo mismo puede decirse de cualquiera de las estrellas) pasa en 24 horas siderales por todos los meridianos, se sigue, en virtud de la perfecta uniformidad del movimiento rotatorio del cielo, que el intervalo entre los tránsitos de una estrella o de cualquier punto fijo de la esfera por dos meridianos, corresponde a la diferencia de las respectivas longitudes terrestres. Supongamos, por ejemplo, que entre dos lugares A i B de la Tierra, estando B al oeste de A, la diferencia de longitud es de 30 grados o 2 horas. Cualquier punto fijo de la esfera que pase por el meridiano de B, lo hará dos horas despues que por el meridiano de A; i si la longitud se cuenta ácia el oeste, el tiempo transcurrido entre dos tránsitos será el exceso de la longitud de B sobre la longitud de A, espresado en horas. Luego si colocamos en A el cero de

(ñ) En 1º de Enero de 1848, 6h 38m 27s. 046.

las longitudes  $\sigma$  el primer meridiano terrestre, el intervalo entre el tránsito de cualquier punto fijo de la esfera por el meridiano celeste de A i el tránsito sucesivo del mismo punto por el meridiano celeste de B, expresará la longitud de B. Ahora bien : supongamos que mis observaciones me dan a conocer el momento de un tránsito del equinoccio por el meridiano celeste de B. Si yo logro poner en B un reloj sideral arreglado al meridiano de A, la hora que este señale en aquel preciso momento será la longitud de B, expresada en horas. En general, el adelanto de la hora sideral de A sobre la hora sideral de B será en cualquier momento dado la longitud de B.

Es evidente que para las averiguaciones de las longitudes terrestres no es necesario reducir el tiempo solar al sideral. Porque, generalmente, sabido el tiempo que gasta un astro en describir un círculo completo alrededor del eje celeste, atravesando todos los meridianos de la esfera en ángulos rectos i moviéndose en toda su carrera con velocidad uniforme; si podemos averiguar el tiempo que ese astro gasta en describir el arco interceptado por los meridianos de A i B, podremos determinar la diferencia de longitudes entre A i B por medio de esta proporción: el tiempo consumido en el círculo es al tiempo consumido en el arco, como 360 es a la diferencia de longitudes, expresada en grados, o como 24 es a la misma diferencia, expresada en horas. Midase pues el tiempo en horas siderales, o en horas solares medias, que son las que corresponden al movimiento uniforme del sol en la esfera celeste, el número de unas u otras que se gaste en describir el arco interceptado, expresará inmediatamente la diferencia de longitudes.

Todo se reduce en realidad a saber en un momento dado la diferencia de tiempos locales, medidos por revoluciones uniformes alrededor del globo terrestre. Lo que importa es fijar el momento preciso de cualquier fenómeno celeste, referido a los varios tiempos locales. El tránsito del equinoccio por cualquier meridiano celeste es un fenómeno como otro cualquiera, como verbigracia, la ocultación de tal o cual estrella detrás del disco de la luna, o como un eclipse de sol o de luna o de un satélite de Júpiter, fenómenos de que hai tablas que con muchos años de anticipación anuncian el momento preciso en que suceden relativamente a un meridiano dado. Supongamos, pues, que un viajero colocado en B a una distancia cualquiera del meridiano de Paris, observa el momento preciso de la ocultación de una estrella en el tiempo local de B. Recurriendo a sus tablas verá la hora que es en el meridiano de Paris, i la diferencia

de tiempos le dará la diferencia de longitudes (o).

Los cronómetros, relojes fabricados con el mayor esmero, de modo que marchen con la mas exacta regularidad posible, señalando el tiempo solar medio bajo un meridiano dado, son de mucha utilidad para la determinacion de las longitudes. Se les pone exactamente con la hora del meridiano a que se quieren referir las longitudes, i averiguada por observaciones precisas la hora de los varios parajes, cuya longitud se desea saber, se compara con la hora del meridiano a que está arreglado el cronómetro. Si el cronómetro no señala con entera exactitud el tiempo medio, se puede corregir fácilmente este defecto, cuando su marcha es, por otra parte, regular, adelantando u atrasando en una razon conocida. Esto es lo que ordinariamente sucede; i los progresos de las artes han llegado a perfeccionar de tal modo este precioso instrumento, que mediante la correccion indicada, se obtienen resultados de una exactitud aproximativa, que apenas hubiera podido esperarse. Para que esto se conciba mejor, copiaremos el siguiente fragmento de un tratado de *Filosofía Natural*, citado por el célebre Arago. "Permítaseme," dice el autor de esta obra, "participar al lector la agradable sorpresa que experimenté despues de una larga travesía de la América del Sur al Asia por el Mar Pacífico. Mi cronómetro de bolsillo i los demas que teniamos a bordo del buque anunciaban, una mañana, que cierta lengua de tierra indicada en el mapa debia encontrarse a 50 millas al este del buque. Júzguese del regocijo de la tripulacion cuando, al despejarse la niebla de la mañana, dió el vigía el alegre grito de *tierra, tierra*, corroborando la prediccion de los cronómetros con una sola milla de diferencia, al cabo de una tan enorme distancia. En momentos como este no puede uno ménos de sentirse penetrado de admiracion, considerando el poder de la inteligencia humana. Compárense los peligros de la antigua navegacion con la seguridad de la nuestra, i niégúense, si es posible, las inmensas ventajas de la industria moderna. Si la marcha del pequeño instrumento hubiera tenido la mas ligera alteracion, en vez de útiles, hubieran sido perjudiciales sus avisos; però de noche, de dia, durante el frio, durante el calor, se sucedian sus pulsaciones con imperturbable uniformidad, llevando, por decirlo así, una cuenta exacta de los movimientos del cielo i de la Tierra; i en medio de las olas del océano, que no dejan tras sí vestigio alguno, señalaba siempre la verdadera posicion del buque cuya sa-

(o) La averiguacion de las longitudes por la ocultacion de una estrella detrás del disco de la luna, necesita de correcciones especiales, porque el momento de la ocultacion no es uno mismo para los diferentes parajes de la Tierra.

lud le estaba encomendada, la distancia recorrida, i la que faltaba que recorrer."

## 4.

La latitud de un lugar es exactamente igual a la altitud del polo visible sobre su horizonte, la cual puede fácilmente determinarse por la altitud de la culminacion de cualquiera estrella, siempre que sea conocida su declinacion. Por ejemplo, la estrella *alpha* al pié de la Cruz, bella constelacion que tenemos siempre sobre nuestro horizonte, está (1.º de Enero de 1843) a  $62^{\circ} 13' 40''$  de declinacion austral (p). Dista, pues, del polo austral  $27^{\circ} 46' 20''$ , que es el complemento de su declinacion, o lo que debe añadirse a esta para completar  $90^{\circ}$ . Si averiguo, pues, que la *alpha* de la Cruz culmina en algun punto de la Tierra a la altitud de  $60^{\circ} 50' 30''$ , deduciré de esta cantidad su distancia polar, i el residuo  $33^{\circ} 4' 10''$  me dará la altitud del polo sobre aquel horizonte, i la latitud del lugar.

## 5.

Conocida la longitud i latitud de un punto de la Tierra, podemos conforme a ellas colocar su nombre en un globo artificial; i haciendo lo mismo con los otros puntos notables, llegaremos a tener una representacion completa de las posiciones de todos ellos en el globo terráqueo. Los mapas de particulares regiones o paises son representaciones parciales, ejecutadas sobre una superficie plana, segun ciertos métodos convencionales, llamados *proyecciones*, cuyo objeto es asimilar en lo posible el bosquejo de cada pais a su verdadera configuracion en el globo terráqueo, o facilitar la averiguacion de las longitudes i latitudes, o servir a otros fines.

Constrúyense de la misma manera, por medio de la ascension recta i la declinacion, globos i mapas que representan la esfera celeste.

## 6.

Por medidas de grados de longitud i de latitud en diferentes parajes, i por cálculos minuciosos fundados en ellas, se sabe hoi con toda certeza que la Tierra es como una esfera achatada o comprimida en los polos, de manera que sus paralelos son aproximativamente circulares, i sus meridianos elipses, cuyo diámetro máximo es el del ecuador, i el mínimo está entre los polos. La figura de la Tierra es por consiguiente un *elipsoide*.

(p) En 1.º de Enero de 1848 a  $62^{\circ} 15' 19''$ . 55: (*Nautical Almanac*).

Segun las últimas observaciones i cálculos, el diámetro máximo de la Tierra, que es el del ecuador, mide 12,754,214.04 metros, i el diámetro mínimo que va de polo a polo, i es el eje sobre que revuelve la Tierra en 24 horas siderales, 12,712,396.94 metros. Por tanto, la diferencia del radio polar al radio ecuatorial es de 20,908.55 metros, que hacen 0,00328, o cerca de  $\frac{1}{300}$  del radio ecuatorial.

Radio ecuatorial 6,377,107.02 m.

Radio polar, 6,356,198.47. (q)

Achatamiento polar en partes del radio ecuatorial, 0,00164.

Circunferencia del ecuador, 40,068,548.52 m.

Grado ecuatorial, 111,301.52.

Legua jeográfica de 25 al grado ecuatorial, 4,452.06.

Milla jeográfica de 60 al grado ecuatorial, 1855.025.

Radio ecuatorial 1432.4 leguas, o 3438 millas.

Cuadrante de meridiano, entre el ecuador i uno de los polos, 10,000721 metros (r).

La superficie toda del globo terráqueo comprende 24,266,218 leguas cuadradas: las tres cuartas partes de esta extension estan ocupadas por las aguas, i apénas la mitad del resto es habitada por el hombre (s).

(q) El radio medio, correspondiente a la latitud de 45° es de 6,366,699 metros, i el que corresponde a la latitud de Santiago mide 6,370,787 m., segun don Andres Gorbea.

El grado de meridiano a la latitud de Santiago tiene, segun el mismo, 110,906.4, i a la latitud de Valparaiso, 110,904.6 metros: cada grado entre Valparaiso i Copiapó puede apreciarse por término medio en 110,875.8: i entre Valparaiso i Chiloé, en 110,779.7.

Sabido es que para cada lugar de la Tierra, el grado de longitud, medido sobre su paralelo, es tanto menor, cuanto mas alta la latitud del lugar. A la de 45° es como 70,000 metros, i a la de 35° como 84,700 metros.

(r) Por consiguiente no es enteramente exacta la base del sistema métrico frances, en que se supone que el metro es la cuarenta-millonésima parte de la circunferencia del ecuador, i que un grado ecuatorial tiene de largo 111,111 metros.

(s) No podemos resistir al placer de extractar del *Cosmos* del ilustre Humboldt, que ha llegado recientemente a nuestras manos, los datos siguientes, que pueden verse como la última espresion de la ciencia astronómica sobre este interesante asunto.

El radio ecuatorial es de 6,377,398.1 metros, i el radio polar de 6,359,079.9; el achatamiento es por tanto al radio ecuatorial como 1 a 299.15. Estos datos, sin embargo, no representan sino el elipsoide de revolucion que se acerca mas a la figura irregular de la Tierra.

Once medidas de grados ejecutadas en diferentes parajes de la superficie terrestre (de las cuales nueve pertenecen a nuestro siglo), nos han enseñado a conocer la figura de nuestro planeta. Pero estas medidas no dan, para diferentes meridianos, igual curvatura bajo una misma latitud.

El descenso de los cuerpos a la superficie de la Tierra en la direccion de la vertical manifiesta la accion de una fuerza que los solicita acia la materia de que se compone el globo terráqueo. Todo pasa como si esta materia ejerciese una especie de atraccion sobre ellos, o en otros términos, como si los elementos de que se compone el globo se atrajesen todos recíprocamente unos a otros.

Si la Tierra estuviese inmóvil, i si la suponemos compuesta de materiales homogéneos, o distribuidos de un modo semejante en las diferentes partes del globo, sus elementos, solicitados por una atraccion recíproca tomarían la figura esférica, porque no habria motivo para que se acumulasen en el ecuador mas que en los polos. El agua, cuyas partículas son tan móviles i buscan tan ansiosamente el equilibrio, no se mantendria, como se mantiene, formando una protuberancia considerable en el ecuador; ántes bien se precipitaria violentamente acia los polos hasta nivelarse con la curvatura de una esfera perfecta. La prominencia de las partes sólidas de las rejiones ecuatoriales, corroidas por la atmósfera i las aguas, se habria desmoronado poco a poco en el transcurso de los siglos, i habria caminado gradualmente acia las rejiones polares, afectando el mismo nivel. ¿A qué podemos pues atribuir la forma actual de la Tierra? Dos hipótesis se presentan para dar razon de ella: la desigual distribucion de materiales indisolubles que desplieguen una fuerza atractiva mas poderosa en el ecuador que en los polos (suposicion desmentida por las observaciones hasta donde han podido estenderse), o la rotacion de la Tierra al rededor de un eje perpendicular al ecuador.

Admitida esta segunda hipótesis, sucederia lo que en un vaso de agua colgado de un hilo, que lo mantenga derecho. Si se hace dar vueltas a este vaso al rededor de la vertical que pasa por su centro, el agua se aparta de la vertical, que es el eje de la rotacion, i se acumula acia la circunferencia, dejando una cavidad en el centro. Hai una fuerza que la hace, por decirlo así, huir del eje, i que se llama por eso *centrífuga*: la cavidad central es mayor i mayor, cuanto mas se aumenta la velocidad de la rotacion, i con ella la fuerza centrífuga; i tan grande puede llegar a ser esta, que el agua se escape por líneas tanjentes a la circunferencia i se esparza alrededor del vaso.

Ahora bien, si la Tierra se moviese alrededor de un eje situado en la direccion norte-sur, se enjendraría en el océano, i en todos los cuerpos sueltos, derramados sobre su superficie, una fuerza centrífuga que los so-

liria continuamente a alejarse del eje. La velocidad del movimiento rotatorio podría ser tal que todos ellos i el océano se disparasen por la tanjente, lanzados en el sentido de la rotacion: Pero en un jiro ménos veloz su peso los detendria sobre la superficie, i la fuerza centrífuga quedaria satisfecha deprimiendo un poco los polos, como deprime el nivel del agua en medio del vaso—Calculado por los matemáticos el efecto de la gravedad, i el de la fuerza centrífuga de un cuerpo como la Tierra, que en 24 horas siderales diese una vuelta completa alrededor de su eje, se ha encontrado que la forma del equilibrio en ese cuerpo seria la de un elipsoide, cuya excentricidad se acercaria muchísimo a la que mensuras diversas ejecutadas con escrupulosa precision han descubierto en el globo terráqueo. He aquí pues otra presuncion poderosa a favor de la rotacion de la Tierra. Y nótese que cuando se adoptó la teoría de Copérnico, no se contaba con esta elipticidad de nuestro planeta. Si los sabios prefirieron el sistema copernicano al antiguo de Ptolomeo, que colocaba a la Tierra inmóvil en el centro del mundo, fué solo por la superior facilidad con que esplicaba las apariencias celestes. Mas una vez admitida la idea de la rotacion terrestre, se dedujo de ella, como consecuencia necesaria, que la figura de la Tierra no podia ser completamente esférica, sino semejante a la de un elipsoide, cuyo diámetro ecuatorial fuese mayor que el eje. Tan estrecha es la conexion entre estas dos cosas, que la forma elipsoide de la Tierra fué demostrada por Newton como preciso efecto del movimiento rotatorio, i hasta se llegó a calcular el aplastamiento de los polos, ántes que por mensura alguna directa se hubiese podido sospechar su existencia.

Si el elipsoide terrestre rueda en efecto alrededor de un eje perpendicular al ecuador, la fuerza centrífuga debe contrarrestar una porcion mayor del peso de los cuerpos en las regiones ecuatoriales; i esto tambien ha sido confirmado por la esperiencia. Un mismo e idéntico cuerpo pesa ménos en el ecuador que en los polos. Equilíbrese en el ecuador el peso de un cuerpo dado, con otra potencia de diversa especie: cuélguese, verbigracia, un pedazo de plomo en la estremidad de un resorte espiral; i se echará de ver que se estiende mas el resorte i descende mas el plomo en las altas latitudes que en las bajas.

Pudiera con todo creerse que la configuracion elipsoide de la Tierra, supuesta inmóvil, esplica suficientemente esta superior intensidad de la gravitacion en las altas latitudes. Demuéstrase, en efecto, que las fuerzas atractivas de las moléculas de un elipsoide homogéneo obran juntas como si todas ellas estuviesen situadas en el centro del elipsoide; de que se sigue que obrarán con mas intensidad sobre un cuerpo situado a la su-

perficie del elipsoide, cuanto menor sea la distancia entre el mismo cuerpo i el centro; i por tanto, con mas intensidad cerca de los polos terrestres, que cerca del ecuador. Separémos pues, si es posible, las influencias de estas dos causas, la fuerza centrífuga i la configuracion elipsoide.

La Mecánica demuestra que si se hace oscilar un péndulo bajo el influjo de varias fuerzas en un tiempo dado, las intensidades de estas serán como los cuadrados de los números de las oscilaciones. Por experimentos directos se prueba que un péndulo de cierta longura hace menor número de oscilaciones en el ecuador que en las latitudes intermedias i en los polos. Luego es menor la fuerza de gravedad en el ecuador que en las latitudes intermedias i en los polos. ¿Pero cuánto menor? Resulta de los experimentos que la diferencia entre la fuerza de gravedad en el ecuador i la misma fuerza en los polos, es como  $\frac{1}{194}$  de la primera; de manera que si un cuerpo pesa 194 unidades en el ecuador, pesará 195 en los polos. Por otra parte, se ha calculado que en razon de la fuerza centrífuga sola, la diferencia debería ser como  $\frac{1}{289}$ , i en razon de la figura de la Tierra como  $\frac{1}{590}$ . La suma de estas dos fracciones es con una cortísima diferencia  $\frac{1}{194}$  (t).

Estos datos dan sin duda una gran probabilidad a la rotacion de la Tierra. Pero hai mas,

Es un hecho cuya esplicacion darémos mas adelante, que el aire ecuatorial se calienta mas que el de las otras latitudes: por consiguiente se enrarece mas, i enrarecido se hace ya incapaz de resistir a la presion lateral de la atmósfera circunvecina, que se lanza sobre él i lo empuja acia arriba. Acumulado allí se derrama alrededor, se enfria, i pasa a llenar el vacío que se produce acia los polos por la corriente atmosférica que lo empuja. Establécense de este modo en cada hemisferio dos co-

(t) Podemos pues valernos de las oscilaciones del péndulo para medir la curvatura de la Tierra. Los valores de la depresion polar deducidos de ellas han variado desde un doscientos-sesenta-i-seis-avo hasta un trescientos-cuatro-avo; pero prevaleciendo números bastante cercanos a un trescientos-avo.

De aquí la idea de emplear el largo del péndulo de segundos en el ecuador como base de un sistema métrico universal: voto expresado por Bouguer, La Condamine i Godin, en un monumento célebre. Se lee, dice Humboldt, en la bella mesa de mármol, que yo encontré intacta en el antiguo colegio de los Jesuitas en Quito: "Penduli simplicis æquinoctialis unius minuti secundi archetypus, mensuræ naturalis exemplar, utinam universalis."

El primero que propuso emplear el largo del péndulo de segundos como medida universal, tomando el tercio de este largo (que se creia constante sobre toda la Tierra) por el *pie horario*, unidad cuyo valor podria fácilmente comprobarse en cualquier tiempo i pais, fué Huyghens en su *Horologium oscillatorium*, 1673.

Las oscilaciones del péndulo están sugetas a influencias locales, que las hacen desviarse algún tanto de su número normal. Se ha notado un aumento irregular de la fuerza de gravedad en muchas islas volcánicas. (*Cosmos*).

corrientes atmosféricas, dos vientos; el uno del polo acia el ecuador en las regiones inferiores de la atmósfera; el otro del ecuador acia el polo en las regiones superiores.

Pero supuesta la rotacion de la Tierra, el aire que pasa de los polos al ecuador trae menor fuerza centrífuga que la correspondiente a las latitudes que nuevamente ocupa, i este déficit de velocidad rotatoria hace que en cada punto de su progreso se atrase algo respecto del movimiento rotatorio de la Tierra. La corriente de aire que, próxima a la superficie de la Tierra, pasa del polo al ecuador, parecerá pues impelida en sentido contrario al del globo, es decir, de oriente a occidente; i combinado este aparente impulso con el movimiento que la arrastra al ecuador, producirá una direccion resultante, que será al sudoeste en el hemisferio del norte, i al noroeste en el hemisferio del sur.

Habrá por tanto dos corrientes o vientos constantes i, por decirlo así, habituales, el nordeste en el hemisferio boreal, i el sudeste en el austral; i si es así, como lo es en efecto, (salvas las irregularidades producidas por accidentes locales i causas meteorológicas), los vientos constantes de que hablamos (llamados *alíseos*) nos ofrecen otro indicio no despreciable de la rotacion de la Tierra.

Compruébase la explicacion anterior por la notable diferencia de movimientos que se ha observado entre las regiones superiores i las inferiores de la atmósfera. Sobre el pico de Tenerife reina casi constantemente un viento fuerte en sentido contrario al de los alíseos, que agitan a sus piés las olas. En el año de 1812, el polvo volcánico arrojado de la isla de San Vicente pasó formando una espesa nube sobre la Barbada con asombro de sus habitantes, i fué a caer a mas de cien millas de distancia, en opuesto sentido al de los vientos impetuosos que allí soplan, i a que solo pueden sustraerse los buques por un largo rodeo. En la travesía del cabo de Buena-Esperanza a Santa Helena es eclipsada muchas veces la luz del dia por una masa inmensa de nubes que en las altas capas de la atmósfera se dirige acia el sur.

La region de los vientos alíseos abraza como 30 grados a uno i otro lado del ecuador.

## 8.

Aunque los pormenores geográficos no pertenecen a nuestro asunto, no dejaremos de notar como un hecho curioso, que los continentes i mares están distribuidos mui desigualmente sobre la superficie de nuestro globo, pues podemos dividirla en dos hemisferios, uno de los cuales

comprende casi todos los continentes, i el otro se halla casi enteramente cubierto por el océano. Los Ingleses notan con satisfaccion que Lóndres está casi en el centro del primer hemisferio.

En fin, para tener un conocimiento cabal de la superficie del globo que habitamos, es necesario medir tambien la profundidad de las aguas i la elevacion de los montes. Para averiguar la profundidad de las aguas se hace uso de la sonda; i venimos en conocimiento de las elevaciones terrestres por mensuras trigonométricas i por el barómetro. Como la atmósfera pesa ménos i ménos segun nos elevamos en ella, el peso del aire superincumbente, indicado por el barómetro, da a conocer la altura del paraje a que se ha llevado este instrumento.

El nivel del mar es el plano a que se refieren como líneas rectas perpendiculares las alturas i profundidades de nuestro globo.

## 9.

Despues de medida la Tierra, era necesario pesarla. Los cálculos i experimentos han dado como resultado probable que la densidad media de toda la Tierra comparada con la del agua pura era como 5.44 a 1. Y como, por la naturaleza de las rocas que componen las capas superiores de la parte sólida del globo, se ve que la densidad de los continentes es apénas como 2.7, se sigue que la densidad media de los continentes i mares, que forman como la corteza de nuestro planeta, no alcanza a 1.6. Esto muestra que la densidad de las capas interiores crece considerablemente acia el centro, sea por la presion que sostienen, o por la naturaleza de los materiales de que se componen. (u)

## CAPÍTULO IV.

## DEL SOL.

1. *Eclíptica; equinoccios; signos; zodiaco.* 2. *Movimiento aparente del sol entre las estrellas; año sideral, solsticios; coluros; trópicos.* 3. *Posiciones de los objetos celestes referidos a la eclíptica; eje i polos de la eclíptica; círculos polares; círculos de latitud; latitudes i longitudes de los objetos celestes.* 4. *Paralaje.* 5. *Variaciones en la velocidad del movimiento aparente del sol en la eclíptica: variaciones en el movimiento del sol en ascension recta, i en la duracion del dia solar: dia solar verdadero i dia solar medio; tiempo aparente i tiempo medio; ecuacion del tiempo.* 6. *Movimiento elíptico del sol.* 7. *Distancia de*

(u) *Cosmos*

la tierra al sol. 8. Magnitud del sol. 9. Movimiento aparente del sol, explicado por el movimiento real de la tierra. 10. Paralaje heliocéntrica; longitudes y latitudes heliocéntricas. 11. Paralelismo del eje terrestre.

## 1.

La senda aparente del sol entre las estrellas es la circunferencia de un círculo máximo que se llama *eclíptica*, cuyo plano está inclinado al de la equinoccial en un ángulo de cerca de  $23^{\circ} 28'$ , llamado *oblicuidad de la eclíptica* (v): la interseccion de los dos planos es una línea recta cuyos puntos extremos se denominan *equinoccio vernal* o *de primavera*, i *equinoccio autumnal* o *de otoño*, porque el sol cruza la equinoccial por el primero de estos puntos cuando pasa del hemisferio austral al boreal, i la cruza por el segundo cuando pasa del hemisferio boreal al austral; siendo el primero de estos tránsitos el principio de la primavera i el segundo el principio del otoño para los habitantes del hemisferio terrestre del norte. Refiérense pues estos nombres al hemisferio norte, donde tuvo origen la astronomía, i se formó el lenguaje de esta ciencia; pero son enteramente impropios respecto de nuestro hemisferio; por lo cual llamaremos al equinoccio de primavera *equinoccio de Aries*, i al equinoccio de otoño *equinoccio de Libra*; denominaciones que convienen a cualquiera parte del globo, i cuyo significado vamos a explicar.

La eclíptica se divide en doce partes, de a  $30^{\circ}$  cada una, llamadas *signos*, cuyos nombres son, por su orden:

<i>Aries</i> , . . . . . ♈	<i>Libra</i> , . . . . . ♎
<i>Tauro</i> , . . . . . ♉	<i>Escorpion</i> , . . ♏
<i>Jéminis</i> , . . . . . ♊	<i>Sajitario</i> , . . . ♐
<i>Cáncer</i> , . . . . . ♋	<i>Capricornio</i> , ♑
<i>Leon</i> , . . . . . ♌	<i>Acuario</i> , . . . . . ♒
<i>Virgo</i> , . . . . . ♍	<i>Piscis</i> , . . . . . ♓

Para auxilio de la memoria se han comprendido (con ligeras alteraciones) en estos versos.

Sunt Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo.

(v) El *Nautical Almanac* da para la oblicuidad de la eclíptica en 1<sup>o</sup> de Enero de 1848 un ángulo de  $23^{\circ} 27' 32''$ . 87.

Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces (x).

El equinoccio en que el sol pasa del hemisferio austral al boreal, es el primer punto de Aries; i el otro equinoccio, en que pasa del hemisferio boreal al austral, el primer punto de Libra. Cuando se habla absolutamente del equinoccio, se entiende el de Aries, que es de donde principian a contarse las ascensiones rectas i los horarios, i cuyo tránsito por el meridiano celeste fija el momento preciso del principio i fin del dia sideral de cada pais.

Se llama *zodiaco* una zona celeste que se extiende 9° a uno i otro lado de la eclíptica, notable por ser ella el espacio en que vemos moverse los principales astros errantes. Divídese el zodiaco en doce casillas que se llaman tambien signos i corresponden a los de la eclíptica.

Pero no deben confundirse los signos con las doce constelaciones cuyos nombres se les han impuesto. El signo de Aries no tiene nada de comun con la constelacion de Aries. Despues verémos la causa del doble significado que tienen actualmente los nombres de los signos.

## 2.

Mientras que la esfera celeste rueda al parecer de oriente a occidente, llevándose en movimiento uniforme el sol, la luna i todos los astros, el sol parece ademas moverse en la eclíptica en sentido contrario, esto es, de occidente a oriente; recorriéndola en 365d 6h 9m 9s.6 solares, o 366d 6h 9m 9s.6 siderales. En efecto, por el hecho de efectuarse el movimiento aparente del sol entre las estrellas en direccion contraria al aparente movimiento diurno del mismo sol i de las estrellas, es necesario que el sol se atrase cada dia respecto de estas; i de esos atrasos acumulados resultará que al cabo del año habrá hecho una revolucion diurna ménos que las estrellas; de manera que el mismo período de tiempo que se mide por 366 dias 6 horas 9 mi-

(x) Con respecto a Chile podemos traducirlos así:

Libra, Escorpion, Sajitario

Nos dan el tiempo florido:

Capricornio, Acuario, Peces,

El abrasador estío:

Aries, Tauro i los Jemelos

El Otoño en frutas rico:

Cáncer, Leon i la Virgen

La estacion de lluvia i frio.

autos 9.6 segundos siderales, se mide por 365 dias 6 horas 9 minutos 9.6 segundos solares. Por consiguiente, el dia solar es al sideral como 1.00273791 a 1.

El período anual antedicho, compuesto de 365d 6h 9m 9s.6 solares, se llama *año sideral o sidéreo*, porque es el tiempo que gasta el sol en volver a las mismas estrellas, esto es, al mismo punto de la esfera.

Suponemos que la posicion de la eclíptica en la esfera estrellada es invariable. Esta suposicion, a la verdad, no es del todo exacta, pero la variedad es tan corta, que podemos mirar la eclíptica como fija en la esfera por muchos años sucesivos, i aun por siglos enteros.

Caminando el sol de occidente a oriente, su ascension recta es mas grande cada dia, desde que sale del equinoccio de Aries, donde la ascension recta es zero, hasta que vuelve a él. A su salida del equinoccio de Aries, se aleja de la equinoccial, declinando progresivamente al norte, hasta que llega a los 90° de ascension recta. Desde este punto retrocede acia la equinoccial, hasta que la cruza a los 180° de ascension recta en el equinoccio de Libra. Llegado a este equinoccio declina al sur; pero a los 270° de ascension recta cambia otra vez de rumbo, acercándose mas i mas a la equinoccial; i vuelve al fin a encontrarse en el equinoccio de Aries, donde empezó su carrera. Los puntos de máxima declinacion se llaman *solsticios*, el primero de *estío*, el segundo de *invierno*; términos adecuados al hemisferio del norte, pero que no convienen al nuestro. Llamaremos al primero solsticio de *Cáncer*, i solsticio de *Capricornio* al segundo, porque en estos puntos solsticiales principian los signos de Cáncer i de Capricornio.

El círculo máximo que pasa por los polos de la equinoccial i por los equinoccios, se llama *coluro de los equinoccios*, i el círculo máximo que pasa por dichos polos i por los solsticios, *coluro de los solsticios*.

Se llaman *trópicos* dos círculos paralelos a la equinoccial que pasan por los solsticios, i que consiguientemente distan de la equinoccial un arco igual a la oblicuidad de la eclíptica. Dióseles ese nombre porque, llegado a ellos el sol, revuelve acia la equinoccial: (*trópico* se deriva de un verbo griego que significa dar vuelta). Distingúese con los mismos nombres que los respectivos solsticios.

## 3.

Las posiciones de los astros pueden referirse a la eclíptica, lo mismo que a la equinoccial.

Concibamos en la esfera celeste dos puntos opuestos, equidistantes de la eclíptica en todas direcciones, i una línea recta entre ellos, que será por consiguiente perpendicular al plano de la eclíptica, i pasará por su centro; que es al mismo tiempo el centro de la equinoccial i el centro de la Tierra. Esta línea recta es el *eje de la eclíptica*, i aquellos dos puntos sus *polos*, que se distinguen con los mismos nombres que los polos de la equinoccial vecinos a ellos. El eje de la eclíptica está necesariamente inclinado al del ecuador celeste en el mismo ángulo que los respectivos planos, que, como ántes dijimos, es de cerca de  $23^{\circ} 28'$ ; i es claro que entre cada polo de la eclíptica i el de la equinoccial vecino a él, debe haber esa misma distancia angular.

Si concebimos, pues, dos círculos paralelos a la equinoccial, que pase cada uno por un polo de la eclíptica, estos dos círculos (llamados *polares*) estarán como a los  $66^{\circ} 32'$  de declinacion, que es el complemento de la oblicuidad de la eclíptica.

Llámanse *círculos de latitud* en la esfera celeste, los círculos máximos que pasan por los polos de la eclíptica i le son consiguientemente perpendiculares. La *latitud* de un objeto celeste es aquel arco de su círculo de latitud, que media entre él i la eclíptica; cuéntase desde zero hasta  $90^{\circ}$ , estando el zero en la eclíptica, i el  $90^{\circ}$  en uno de los polos de esta; i se distingue en boreal i austral. La *longitud* de un objeto celeste es aquel arco de la eclíptica, que media entre el equinoccio i su círculo de latitud. La longitud se cuenta sobre la eclíptica de occidente a oriente, desde zero hasta  $360^{\circ}$ , tomando por punto de partida el equinoccio.

Conocida la ascension recta i la declinacion de un objeto celeste, es fácil deducir de ellas por medio de la trigonometria esférica su longitud i latitud; i viceversa.

La ascension recta, la declinacion, i la longitud del sol, varian de un instante a otro; la latitud no puede ménos de ser siempre zero.

## 4.

Para las estrellas, como ántes dijimos, es de ninguna importancia la diferencia entre el horizonte sensible i el horizonte racional. Pero respecto de los demas astros no es lo mismo.

Si suponemos dos observadores Pedro i Juan, que colocados a cierta distancia de una torre la refieran a la esfera celeste, sucederá que la cúspide o punta de la torre se les proyectará sobre diferentes puntos de la esfera: si Pedro está al este de Juan, su punto de proyeccion en la esfera estará al oeste del punto de proyeccion de Juan, i recíprocamente. La distancia angular entre los dos puntos de proyeccion será tanto menor, cuanto mas distante de los observadores estuviere la torre.

Esto mismo sucede con los astros cuya distancia de la Tierra no es tan grande que pueda considerarse como infinita respecto del radio terrestre; que es el caso en que se encuentran todos los objetos celestes errantes, o que varian de situacion entre las estrellas. Así dos observadores colocados en distintos parajes de la Tierra referirán estos astros a diferentes puntos de la esfera: la distancia angular de los puntos de proyeccion será sin duda mui pequeña comparada con la del ejempló anterior, por lo mucho que dista de nosotros aun el mas cercano de los astros errantes; pero será sin embargo apreciable. Por consiguiente, para que sean comparables las observaciones de estos objetos, es menester tomar en cuenta la distancia angular de la proyeccion, refiriéndolas a un horizonte determinado, o mejor, al horizonte racional. Debe pues corregirse la proyeccion, reduciéndola a la del ojo de un observador, colocado en el centro de la Tierra.

Figurémonos dos observadores, Pedro i Juan, aquel colocado en la superficie i este en el centro del globo terráqueo, mirando ámbos un mismo objeto celeste en un momento dado. Los puntos de proyeccion de Pedro i Juan estarán en un mismo círculo vertical, i Pedro verá el objeto mas abajo que Juan. La distancia angular entre las dos proyecciones depende manifestamente del ángulo que forman dos líneas tiradas desde el objeto celeste (que consideramos como un punto) a las dos extremidades del radio terrestre que termina en Pedro. Este ángulo se llama *paralaxe* o *paralaje*, que quiere decir *mutacion*; i por lo dicho es evidente que el efecto de la paralaje será siempre deprimir el objeto en un círculo vertical.

La paralaje de los objetos equidistantes, o de un mismo objeto que no varia sensiblemente de distancia con respecto a nosotros, es mayor a mayor distancia del zenit (y): la paralaje de estos objetos llega pues a

(y) Es en razon del seno de la distancia zenital.

su máximo, cuando los vemos en el horizonte: llámase entónces *paralaje horizontal*. (z)

La paralaje de que hemos hablado se distingue con el título de *diurna* o *jeocéntrica* (relativa al centro de la Tierra); hai otra de que hablaremos mas adelante, llamada *anual* o *heliocéntrica* (relativa al centro del sol). La palabra *paralaje* usada absolutamente significa la paralaje jeocéntrica.

Suponemos siempre que las posiciones del sol se observan desde el horizonte racional, o en otros términos, que se ha corregido en ellas el efecto de la paralaje, ademas del de la refraccion.

## 5.

Observado el movimiento del sol en la eclíptica, desde que sale del equinoccio de Aries, se echa de ver que no es uniforme. Si lo fuese, podríamos saber su longitud en cualquiera momento dado, porque entre la longitud i la circunferencia entera o  $360^\circ$ , habria la misma razon que entre el tiempo que hasta aquel momento hubiese consumido el sol desde su salida del equinoccio de Aries, i el tiempo de su revolucion completa.

El incremento de longitud en 24 horas solares medias es, por término medio,  $59' 8'' . 33$ ; pero acia el 31 de Diciembre el sol gana en longitud, en ese espacio de tiempo,  $1^\circ 1' 9'' . 9$ , i acia el 1.º de Julio  $57' 11'' . 5$ . Tales son los límites máximo i mínimo i el valor medio de la velocidad aparente del sol en su órbita.

Aun cuando fuese uniforme el movimiento del sol en la eclíptica, el incremento de su ascension recta de dia en dia no podria serlo, por la oblicuidad de aquel círculo respecto de la equinoccial, en que se mide la ascension recta. ¿Qué será pues cuando a esta causa de diferencia se junta la velocidad variable con que el sol recorre su órbita? El incremento de la ascension recta es rápido acia los solsticios i lento acia los equinoccios; acia el solsticio de Capricornio llega a su máximo, i acia el equinoccio de Libra a su mínimo.

(z) Como los arcos pequeños son proporcionales a sus senos, la paralaje correspondiente a cualquier altitud aparente es igual al producto de la paralaje horizontal por el seno de la distancia al zenit.

La distancia del objeto es al radio de la Tierra como la unidad es al seno de la paralaje horizontal. Se obtiene, pues, la distancia de un objeto celeste, dividiendo el radio de la Tierra por el seno de la paralaje horizontal, i vice-versa, el seno de la paralaje horizontal dividiendo el radio de la Tierra por la distancia del objeto celeste.

Como el dia solar verdadero es el tiempo que trascurre entre dos tránsitos sucesivos del sol por el meridiano celeste, es claro que si el sol no variara de ascension recta, la duracion del dia solar verdadero seria constantemente una misma, i no se diferenciaría de la duracion del sideral, porque ámbas se medirían por el tiempo que gasta la esfera en una revolucion completa, el cual es, como ántes vimos, una cantidad invariable. Tambien es claro que si el sol se moviese uniformemente en ascension recta, si, por ejemplo, se alejase del equinoccio un grado cada dia, de occidente a oriente, habria una razon constante entre la duracion del dia sideral i la del dia solar verdadero. Pero ámbas suposiciones son falsas. El sol se aleja del equinoccio en ascension recta, de occidente a oriente; i la oblicuidad de la eclíptica por una parte, por otra la varia velocidad del sol, hacen que su movimiento en ascension recta sea unos dias mas i otros ménos. Prodúcese por consiguiente una fluctuacion considerable en el tiempo del mediodia natural, que es el momento preciso en que el centro del sol atraviesa el meridiano. Entre dos mediodias transcurre pues mas o ménos tiempo: en otros términos, el dia solar verdadero es una cantidad variable—Es mas largo acia el solsticio de Capricornio que acia el solsticio de Cáncer; mas largo acia el solsticio de Cáncer que acia el equinoccio de Aries; i acia el equinoccio de Libra es mas corto que en ninguna otra época del año.

Tomemos un término medio de todos los dias del año: tendrémós así el dia solar medio que es el que ántes hemos comparado con el sideral. Distinguirémós por consecuencia un *mediodia natural* o *aparente*, que es aquel momento preciso en que el centro del sol atraviesa el meridiano, i un *mediodia medio*, que es el que observaríamos si la eclíptica no fuese oblícua ni la velocidad del sol variable. El *tiempo aparente* es el que corresponde al verdadero curso del sol en su aparente revolucion diaria, señalado por un reloj de sol bien construido: el *tiempo medio* el de los péndulos astronómicos perfectos.

El mediodia aparente viene a veces mas de 16 minutos ántes que el medio, i otras veces mas de 14 minutos despues; lo que hace una fluctuacion de mas de media hora. La diferencia entre los dos se llama *ecuacion del tiempo* (porque en la astronomía se llama *ecuacion* la cantidad numérica que debe añadirse o quitarse a los valores medios para obtener los verdaderos, o recíprocamente), i se calcula e inserta en las *efemérides* para cada dia del año.

Nótese que los astrónomos cuentan las horas desde el mediodia principiando en 1 i acabando en 24. El dia civil principia a la media

noche; i segun la costumbre de la mayor parte de los pueblos cristianos se cuentan las horas desde 1 hasta 12, principiando la primera série a la media noche, i la segunda al mediodía—Así 7h 49m, tiempo astronómico, son las 7 i 49 minutos de la tarde, tiempo civil; i las 15h 35m del 1.º de Enero, tiempo astronómico, son las 3 i 35 minutos de la mañana del 2 de Enero, tiempo civil.

## 6

Corresponden a las variaciones de la velocidad del sol en su órbita, las de su magnitud aparente, pues medido su diámetro por un instrumento peculiar llamado *heliómetro*, parece tener acia el 31 de Diciembre 32' 35" . 6, que es el máximo, i acia el 1.º de Julio 31' 31" . 0, que es el mínimo; i de estas variaciones de su diámetro aparente se colijen las de su distancia con respecto a nosotros, que debe ser en razon inversa del diámetro—Por consiguiente, sus distancias máxima, media i mínima son como los números 1,01679, 1,00000, i 0,9832; de manera que su velocidad en longitud crece cuando mengua su distancia, i vice-versa. La Tierra pues no está en el centro de la órbita solar: su distancia del centro se llama *excentricidad* i equivale a 0,01679 de su distancia media al sol, que para el asunto que nos ocupa puede considerarse como la unidad de medida.

Multiplicadas las observaciones se echa de ver que la verdadera forma de la órbita solar no es un círculo sino una elipse, i que la velocidad del sol en ella no sigue la simple razon inversa de su distancia a la Tierra. Keplero, a quien se debe el descubrimiento de la elipticidad de la órbita solar, promulgó la lei de las variaciones de la velocidad del sol en ella, en estos términos: suponiendo la Tierra inmóvil i el sol en movimiento, el *radio vector* (o la línea recta entre los centros de la Tierra i del sol) describirá en iguales tiempos áreas iguales, i las áreas serán siempre proporcionales a los tiempos.

Podrémos pues formular el *aparente* movimiento anual del sol diciendo, que se ejecuta en un plano, cuya proyeccion en la esfera celeste es el círculo máximo llamado eclíptica; que la órbita solar es una elipse; que su excentricidad es 0,01679 de la distancia media del sol a la Tierra; que la Tierra está situada en uno de los focos de esta elipse; i que la velocidad del sol en la elipse es variable, pero de tal manera que el radio vector describe siempre áreas proporcionales a los tiempos.

Falta todavía determinar la posicion de esta elipse en el plano de la eclíptica. Una elipse no es como un círculo, en que, conocido el centro,

el plano, i el tamaño del radio, está dicho todo. En la elipse es necesario conocer tambien la excentricidad, que determina su forma, i la direccion de su diámetro máximo que pasa por los focos i el centro, i se llama su eje mayor. Además, en el caso presente, es preciso que sepamos en cuál de los dos focos parece estar la Tierra.

Sabemos ya la excentricidad de la elipse solar, i por consiguiente su forma, que se aleja mui poco de la del círculo. Por lo que toca a la direccion del eje mayor, quedará determinada por las longitudes de sus extremidades, llamadas *ápsides*, que son necesariamente el *perijeo* i el *apojeo* del sol, o los puntos de su máxima i mínima distancia a la Tierra. Pero en realidad basta saber la posicion de uno de ellos, porque sus longitudes no pueden ménos de tener entre sí una diferencia de  $180^\circ$ . Y conocida la longitud del *perijeo* o del *apojeo*, queda tambien determinado en cuál de los dos focos parece estar la Tierra.

El perijeo está actualmente como a  $280^\circ$  de longitud, o como  $10^\circ$  al este del solsticio de Capricornio; i creciendo la velocidad del sol en razon de su cercanía a la Tierra, síguese que describe en ménos tiempo la porcion austral de la eclíptica que la porcion boreal; en otros términos, que gasta ménos tiempo en pasar del equinoccio de Libra al equinoccio de Aries, que del equinoccio de Aries al equinoccio de Libra.

## 7.

En la astronomía se demuestra que conocida la paralaje horizontal de un objeto celeste (para lo cual se emplean varios medios, uno de ellos el cotejo de observaciones hechas en latitudes terrestres remotas) se puede por ella determinar la distancia del objeto en leguas, millas u otra medida específica. La paralaje horizontal del sol es como de  $8''$ . 6 por término medio; i de ella se deduce que su distancia media no puede ser ménos de 23,984 veces el radio terrestre, o como  $34\frac{1}{2}$  millones de leguas de 25 al grado.

## 8.

Combinado el dato de la distancia con el del diámetro aparente, resulta que el diámetro real del sol es como de 315000 leguas (siempre de 25 al grado). Excede su diámetro al de la Tierra en la proporcion de 109.93 a 1; i su volúmen es al de nuestro globo como 1,328,460 a 1.

## 9.

¿No será natural, atendida la diferencia enorme de volúmen entre el sol i la tierra, que sea la Tierra la que gira en torno al sol, i no al contrario? Segun el sistema de la atraccion universal, cuya certidumbre está hoy perfectamente demostrada, ninguno de los dos, rigurosamente hablando, debe moverse al rededor del otro, sino ámbos al rededor de su centro comun de gravedad; i puesto que por cálculos fundados en fenómenos bien observados se prueba que la masa o cantidad de materia del sol es a la de la Tierra como 355,000 a 1, el centro comun de gravedad de estos dos cuerpos no puede estar a una distancia considerable de centro del sol. En efecto, se calcula por esos datos que esta distancia es como de 95 leguas o  $\frac{1}{3300}$  del diámetro solar. Mirarémos pues al sol como el centro, comparativamente inmóvil, al rededor del cual describe la Tierra una órbita elíptica, de las dimensiones i excentricidad, i con las variaciones de velocidad, arriba dichas, ocupando el sol uno de los focos de la elipse; desde donde derrama en todas direcciones la luz y el calor, tan necesarios para la vida de los seres organizados. Despues veremos confirmada esta idea.

## 10.

Para concebir con claridad los movimientos verdaderos de la Tierra i de los planetas, podemos trasladarnos en imaginacion al sol, desde donde los contemplarémos despojados de las apariencias ilusorias que les da la inestabilidad del punto de observacion en que estamos acostumbrados a verlos. A la manera que por la paralaje diurna se refieren al centro de la Tierra las posiciones que se observan sobre su superficie, por la paralaje anual o heliocéntrica las referimos al centro del sol, o mas bien, al centro comun de gravedad del sol i de todos los cuerpos que forman un sistema particular con él i con la Tierra. La paralaje diurna proyecta los objetos sobre una esfera de infinito radio, cuyo centro es el mismo que el de la Tierra; la paralaje heliocéntrica sobre una esfera casi concéntrica al sol. Nacen de aquí las *longitudes i latitudes heliocéntricas*, que son las que un espectador en el sol mediria sobre la eclíptica, esto es, el círculo máximo trazado en el cielo por la infinita prolongacion del plano de la órbita terrestre.

Fácil es ver que la latitud heliocéntrica de la Tierra es siempre zero, i su longitud heliocéntrica igual siempre a la longitud geocéntrica del sol  $+ 180^\circ$ . Cuando el sol está respecto de la Tierra en el equinoccio de Aries, la Tierra está respecto del sol en el equinoccio de Libra; i cuando aquel está para nosotros en el solsticio de Cáncer, nuestro globo está para el sol en el solsticio de Capricornio. El apojeio del sol es el afelio de la Tierra; i el perijeio del primero el perihelio de esta. La longitud heliocéntrica del perihelio de la Tierra es como de  $100^\circ$  ( $99^\circ 30' 5''$  en 1801), o como  $10^\circ$  mas allá del solsticio de Capricornio.

En jeneral se llama *afelio* el punto en que un astro dista mas del sol; i *perihelio* el punto en que se acerca mas a él.

## 11.

El eje de la Tierra mira constantemente a dos puntos fijos de la esfera celeste, que son los dos polos austral i boreal; lo que no puede explicarse sino suponiendo:

1.º Que el eje de la Tierra se mantiene constantemente paralelo a sí mismo, describiendo en su revolucion anual la superficie de un vasto cilindro, que tiene 69 millones de leguas de diámetro, i cuyo eje o línea mediana pasa por el sol, i está inclinada al plano de la eclíptica en un ángulo de  $66^\circ 32'$ , que es el complemento de la oblicuidad de la eclíptica; i

2.º Que este inmenso cilindro es como una línea recta, i 69 millones de leguas como un punto, respecto de la distancia a que se hallan del sol las estrellas!

## CAPÍTULO V.

### DE LAS PERTURBACIONES DEL MOVIMIENTO ELÍPTICO DE LA TIERRA.

1. *Perturbaciones periódicas i seculares.* 2. *Oscilaciones seculares i periódicas de la oblicuidad de la eclíptica.* 3. *Precesion de los equinoccios.* 4. *Año sidereal i año trópico: relacion del dia solar al sidereal.* 5. *Valor variable del año trópico.* 6. *Anomalía i año anomalístico.* 7. *Variacion de la excentricidad.* 8. *Recopilacion.*

## 1.

En la idea que hemos dado del movimiento elíptico de la Tierra, hemos prescindido de varias pequeñas perturbaciones, que ya es tiempo de indicar.

Las unas se llaman *periódicas*, i son las que oscilan, por decirlo así, en cortos períodos. Las otras son tambien periódicas, pero se desarrollan en siglos, i se llaman por eso *seculares*.

De ámbas especies las hai en la oblicuidad de la eclíptica.

## 2.

El plano de la órbita terrestre, que hasta ahora hemos mirado como fijo, varía de posicion en el espacio. La eclíptica no pasa constantemente por unos mismos puntos de la esfera celeste.

De aquí los varios valores asignados a la oblicuidad de la eclíptica por los astrónomos de diferentes siglos; valores que han ido en disminucion progresiva hasta nuestro tiempo, i cuya variedad no puede por consiguiente atribuirse a lo imperfecto de las observaciones. De aquí tambien las variás latitudes de las estrellas en épocas remotas. Las que ántes estaban al lado boreal de la eclíptica cerca del trópico de Cáncer, o al lado austral de la misma cerca del trópico de Capricornio, se han alejado de la eclíptica, sin que las estrellas hayan variado de posicion entre sí; al paso que las estrellas que estaban próximas a los mismos solsticios, pero entre la eclíptica i la equinoccial, se han acercado a la primera, i algunas la tocan ya, o hasta se ven del lado opuesto.

Pero en realidad todas las estrellas participan de este movimiento, unas mas, otras ménos; i la diferencia es exactamente la que corresponde a una disminucion de la oblicuidad de la eclíptica, como si esta jirase sobre la línea de los equinoccios; de manera que el plano de la eclíptica se va progresiva, aunque lentísimamente, acercando al plano de la equinoccial.

La disminucion de la oblicuidad de la eclíptica no será siempre progresiva. Vendrá tiempo en que este movimiento empiece a retardarse; despues cesará enteramente, i la oblicuidad parecerá invariable. Pero en seguida se verá otra vez variar en sentido contrario: la eclíptica se alejará poco a poco de la equinoccial en los mismos términos i segun los mismos períodos por los cuales se habia acercado a ella; i estos movimientos alternativos producirán una oscilacion eterna comprendida entre límites fijos. No han podido determinarse todavía con bastante exactitud

estos límites; pero se cree que abrazan un pequeño espacio, que no llega a  $1^{\circ} 21'$  por un lado i por otro.

La oblicuidad de la eclíptica deerece actualmente  $48''$  por siglo. En  $1^{\circ}$  de enero de 1843 era de  $23^{\circ} 27' 35''.15$ ; (aa) mas este es solo un término medio, despojado de las perturbaciones periódicas. La mas considerable de ellas está sujeta a un período de 18 a 19 años, es decir, que al cabo de este tiempo todo lo que depende de esta variacion se compensa, i no queda mas que el efecto constante de la disminucion progresiva. La segunda es mucho ménos considerable, pues solo dura medio año.

Atendiendo pues al solo efecto de las causas constantes que rijen actualmente el sistema del mundo, se puede afirmar que el plano de la eclíptica no ha coincidido ni coincidirá jamas con el plano del ecuador; fenómeno que, si sucediese, produciria sobre la Tierra una primavera perpetua.

### 3.

Observando la ascension recta de las estrellas en diferentes épocas, se notan, aun a cortos intervalos de tiempo, diferencias notables. La ascension recta de todas las estrellas aumenta: sus horarios se alejan continuamente del horario del equinoccio, en el sentido del movimiento anual de la Tierra, esto es, de occidente a oriente. Al mismo tiempo varían tambien las declinaciones de las estrellas: la equinoccial no pasa ya por las mismas que ántes. De modo que la situacion de las diversas constelaciones, respecto de la equinoccial i de los equinoccios, es mui otra de la que los antiguos astrónomos describieron.

Estos movimientos referidos a la equinoccial no presentan una lei manifiesta, pero referidos a la eclíptica, se descubren en ellos una armonía maravillosa. Al paso que las latitudes de las estrellas no experimentan mudanza alguna, sino la que resulta naturalmente de la oscilacion que poco ha indicamos en la oblicuidad de la eclíptica; las longitudes de todas las estrellas crecen, i el incremento es igual en todas. De suerte que todos estos astros parecen moverse en el cielo paralelamente al plano de la eclíptica; como si la esfera celeste rodase al rededor del eje de la eclíptica con un movimiento lentísimo, de occidente a oriente. En virtud de esta rotacion cada polo de la

(aa) En  $1^{\circ}$  de enero de 1848,  $23^{\circ} 27' 32''.87$ . (*Nautical Almanac*.)

equinoccial describe un círculo al rededor del polo de la eclíptica vecino, con una velocidad de  $50''.10$  por año, recorriendo por tanto la circunferencia entera en un período de 25,868 años.

De aquí resulta que los equinoccios no corresponden constantemente a unos mismos puntos de la esfera; el sol vuelve a la equinoccial ántes de volver a las mismas estrellas; los equinoccios se adelantan, por decirlo así, a recibir al sol; i por eso se ha llamado a este fenómeno la *precesion de los equinoccios*. Cada uno de los puntos equinocciales tiene pues en el ecuador celeste un movimiento retrógado, esto es, de oriente a occidente, en virtud del cual corre cada año  $50''.10$ , i toda la circunferencia en 25,868 años.

Fácil es ver que este movimiento de la esfera es una apariencia producida por el movimiento verdadero del eje de la Tierra; porque los polos de la equinoccial no son mas que los puntos a que está dirigido por sus dos estremidades el eje terrestre; i si parece que cada polo de la equinoccial describe un círculo al rededor del respectivo polo de la eclíptica, consiste en que el eje terrestre mira sucesivamente a cada punto de la circunferencia; describiendo consiguientemente dos conos, cuyo ángulo es de  $46^{\circ} 56'$ , o dos veces la oblicuidad de la eclíptica, i cuyos áspices se tocan en el centro de nuestro globo. Combúnanse pues los movimientos diurno i anual de la Tierra con el de la precesion de los equinoccios, exactamente como en un trompo que no baila derecho se combina el movimiento de todo el trompo sobre el suelo, con el jiro al rededor de su propio eje, i con el movimiento cónico de este eje.

Un efecto visible de la precesion es que ciertas estrellas i constelaciones se van acercando lentísimamente a los polos, al paso que otras se retiran. Consérvanse memorias de un tiempo en que la estrella polar, o la *alpha* de la Osa menor, distaba  $12^{\circ}$  del polo norte; hoy solo dista  $1^{\circ} 34'$ , i se acercará todavía mas, hasta que solo diste medio grado; despues de lo cual se retirará, dando lugar a otras que la sucedan en el oficio de alumbrar el polo. De aquí a 12,000 años, la estrella *Vega* de la Lira, la mas brillante del hemisferio boreal, se acercará hasta  $5^{\circ}$  del polo, de que ahora dista mas de  $51^{\circ}$ ; i lo señalará al marinero. Iguales mutaciones sucederán en nuestro hemisferio celeste. *Achenar*, en la constelacion de Eridano, estará algun dia a poca distancia del polo antártico, i podrá guiar a los que naveguen por los mares del sur.

Para cada pueblo de la Tierra variará en este inmenso período el

aspecto grandioso i pintoresco de la bóveda celeste. Vendrá un dia (dice Humboldt) en que las brillantes constelaciones del Centauro i de la Cruz del Sur serán visibles en nuestras latitudes boreales, al paso que otras estrellas, como Sirio i el Tahalí de Orion, no subirán sobre nuestro horizonte. Estas consideraciones ponen de vulto, por decirlo así, la grandeza de estos movimientos, que proceden con lentitud, pero sin jamas interrumpirse, y cuyos vastos períodos forman como un eterno reloj del universo.

El descubrimiento de la precesion sube solo al tiempo de Hiparco. Antes de él se creia que el sol, retornando al mismo equinoccio, retornaba a las mismas estrellas; i como la posicion de este astro en el cielo reglaba los trabajos de la agricultura, desde la mas alta antigüedad se habia dividido la eclíptica en doce porciones iguales, llamadas signos, que correspondian justamente a las constelaciones Aries, Tauro, &c., comenzando por el equinoccio de Aries, principio de la primavera en el hemisferio boreal. Pero de entónces acá ha variado mucho el aspecto del cielo: los equinoccios han retrogradado en la eclíptica; i si en tiempo de Hiparco el equinoccio de Aries estaba en la constelacion del mismo nombre, hoy no sucede así: el equinoccio de Aries está en la constelacion de Piscis, el solsticio de Cáncer en la constelacion de Géminis, el equinoccio de Libra en la constelacion de la Vírjen, el solsticio de Capricornio en el Sagitario; i todo ha retrogradado un signo entero. Débense pues distinguir los signos, que tienen una relacion fija con los puntos equiccionales, de las constelaciones del zodiaco, que son móviles respecto de esos mismos puntos.

En la precesion de los equinoccios hai pequeñas perturbaciones periódicas, ligadas con las que hemos notado en la oscilacion secular de la eclíptica. Una de ellas está sujeta a un período como de 19 años. Si no hubiese el movimiento de precesion de los equinoccios, cada polo de la equinoccial describiría en el cielo, en virtud de esta perturbacion periódica, una pequeña elipse; cuyo eje mayor, dirigido al polo de la eclíptica, seria de  $18''.5$ , i el menor de  $13''.74$ . Combinado este movimiento llamado *nutacion*, con el de la precesion de los equinoccios, produce un jiro undulado, que puede representarse por un círculo como el de la figura 3; aunque en él ha sido preciso exajerar enormemente las undulaciones.

Hai otra nutacion menor sujeta al período de medio año, la cual produce en cada undulacion de las que acabamos de indicar otras undulaciones mas pequeñas.

De una i otra resultan fluctuaciones correspondientes en la posicion del equinoccio de Aries i de todos los signos, i por consiguiente, en todas las ascensiones rectas, i en todas las lonjitudes. Hai pues un equinoccio *verdadero*, afectado por las nutaciones, i un equinoccio *medio*, en que se despejan los efectos de estas; i la misma diferencia tiene lugar en las ascensiones rectas i en las lonjitudes, refiriéndose las *verdaderas* al equinoccio verdadero i las *medias* al medio.

La cantidad en que el equinoccio verdadero se diferencia del medio, se llama *ecuacion de los equinoccios*, i puede espresarse en lonjitud o en ascension recta. En 1.º de enero de 1843 la ecuacion de los equinoccios era  $+17^{\prime}.31$  en lonjitud, i  $+1s.06$  (de tiempo) en ascension recta: (bb) el signo  $+$  manifiesta que el equinoccio medio se adelanta al verdadero en el sentido de occidente a oriente. Por tanto, para deducir de la lonjitud o ascension recta verdadera la media, debe añadirseles la cantidad correspondiente; i por el contrario, para deducir de la media la verdadera, debe esa cantidad snbstraérseles.

#### 4.

El retroceso anual del equinoccio, o el arco que describe anualmente en la eclíptica en direccion contraria a la del sol, de que resulta su anticipacion o precesion, es, como dejamos dicho, de  $50^{\prime}.10$ , i el tiempo que el sol gasta en recorrer este arco para volver a las mismas estrellas es de  $20m\ 19s.9$ .

De aquí resulta otro período anual, llamado *año trópico*, que es el tiempo que gasta el sol desde su aparente partida del equinoccio de Aries hasta su retorno a él. El año trópico tiene pues de ménos que el sideral  $20m\ 19s.9$ , i dura por consiguiente  $365d\ 5h\ 48m\ 49s.7$  (tiempo solar medio). Este año se llama tambien *equinoccial* porque se mide por la vuelta del sol al equinoccio de Aries, i *civil*, porque es el que sirve para la medida del tiempo en las naciones civilizadas.

El retorno del equinoccio al meridiano es para todos los efectos prácticos una cantidad invariable; pero teóricamente no lo es. El retorno de una estrella al meridiano, o en otros términos, el período de una rotacion completa de la Tierra, es sin duda una cantidad invariable; i lo mismo diríamos del retorno del equinoccio, si su posicion en la esfera fuese tan fija como lo es la de las estrellas, o si, a lo ménos, su movimiento en ascension recta fuese uniformemente progresivo. Pero ya he-

(bb) En 1º de enero de 1848 la ecuacion en lonjitud en  $+1^{\prime}.94$ , i en ascension recta  $+0s.12$ .

mos visto que fluctúa. Deberíamos pues distinguir un dia sideral verdadero i un dia sideral medio, como respecto del dia solar. Lo que hace que se desatienda esta fluctuacion es su extremada pequeñez, puesto que la diferencia entre el dia sideral medio i el dia sideral verdadero sería, cuando mas, de 2s. 3 en un período de 19 años.

## 5.

Pero la variacion de la oblicuidad de la eclíptica no es uniformemente progresiva, como lo hemos notado, i su influencia en la precesion de los equinoccios debe por tanto sujetarla a fluctuaciones, mui lentas a la verdad, pero perceptibles en el transecurso de siglos. Así la retrogradacion anual del primer punto de Aries es hoy mayor que en tiempo de Hiparco; i por consiguiente el año trópico es ahora mas corto que entónces. Se ha valuado la diferencia en 4s. 21.

## 6.

Hai otra perturbacion secular, que consiste en el movimiento del eje de la órbita terrestre.

Sea S (figura 4) el sol; AQMP la elipse que describe la Tierra en torno al sol; ECLI la proyeccion de esta elipse en el cielo, mirada desde el centro del sol, es decir, la eclíptica; A el punto mas cercano al sol, o el *perihelio* de la órbita; M el punto mas distante, el *afelio*; (los mismos puntos que, referidos a la Tierra, llamamos perijeo i apojeo); i ASM, por consiguiente, el eje mayor de la elipse.

Cuando el sol para la Tierra parece estar en L, primer punto de Aries, la Tierra para el sol parece estar en el primer punto de Libra, E, zero de la longitud heliocéntrica. EL es la línea de los equinoccios. La Tierra se mueve en la direccion BPA.

La posicion del perihelio de la Tierra experimenta una variacion mui lenta, moviéndose en la eclíptica  $11''$ . 8 cada año, de occidente a oriente; de manera que cuando vuelve la Tierra al punto de la eclíptica en que se hallaba el perihelio el año anterior, no lo encuentra allí, i para alcanzarlo tiene todavía que describir un arco de  $11''$ . 8, en que gasta 4m 39s. 7; tiempo que añadido al de la revolucion sidérea da 365d 6h 13m 49s. 3. Este período, que es el tiempo consumido por la Tierra en volver al perihelio de su órbita, se llama año *anomalístico*, porque los astrónomos han llamado *anomalía*, la distancia angular de un astro errante al perihelio o perijeo de su elipse.

Como al mismo tiempo que el perihelio progresa de occidente a oriente  $11''.8$ , el equinoccio retrograda de oriente a occidente  $50''.1$ , es visto que con respecto al equinoccio el perihelio progresa cada año  $61''.9$ , empleando un período de cerca de 210 siglos en volver al equinoccio. En 1.º de enero de 1801 estaba a  $99^\circ 30' 5''$ , longitud heliocéntrica.

Supongamos ahora que la órbita es dividida en dos segmentos por una línea recta cualquiera PSQ, que pasa por el sol; el segmento PMQ se proyectará sobre  $180^\circ$  de longitud, de la misma manera que el segmento PAQ; pero la Tierra no empleará el mismo tiempo en recorrer el primero que el segundo, porque moviéndose con mas velocidad en el segmento que comprende el perihelio, tardará ménos en PAQ, que en PMQ.

Esto es lo que sucede actualmente; el perihelio está un poco al este del solsticio de Capricornio; del equinoccio de Aries al equinoccio de Libra emplea la Tierra mas tiempo que del equinoccio de Libra al equinoccio de Aries; la primavera i estío del hemisferio septentrional de la Tierra son mas largos que el otoño i el invierno; i en nuestro hemisferio sucede lo contrario. En el año de 1848 la primavera principia para el hemisferio boreal el 20 de Marzo; para nosotros el 22 de Setiembre. La diferencia es de 7 dias.

Pero no ha sido ni será siempre así. Como el eje de la órbita camina progresivamente sobre el plano de la eclíptica, es preciso que alguna vez haya coincidido o coincida con la línea de los equinoccios, i alguna vez con la línea de los solsticios. En el primer caso la duracion de la primavera i estío juntos es igual para los dos hemisferios: en el segundo la diferencia entre las dos duraciones es la mayor posible: todo depende de la posicion relativa de la línea de los ápsides i la línea de los equinoccios. Cuando el perihelio estaba en el solsticio de Capricornio, la diferencia era mayor que ahora a favor del hemisferio boreal. Desde entónces ha sido menor i menor, i continuará menguando hasta el año de 6485, en que el perihelio se confundirá con el equinoccio de Aries. El sol morará entónces igual tiempo en los dos hemisferios celestes i habrá igualdad entre la primavera i estío de Chile i la primavera i estío de Europa. Mas este estado de cosas durará poco. El sol hará cada año mas larga mansion en el sur que en el norte, hasta que llegando el perihelio al solsticio de Cáncer, comiencen a menguar por los mismos pasos la primavera i estío del sur. Restituido el perihelio a la línea de los equinoccios, cesará la diferencia, para principiar de nuevo en favor del hemisferio boreal.

## 7.

La astronomía demuestra que el movimiento de los ápsides está ligado con una variación progresiva de la excentricidad de la elipse. Esta variación consiste en que la excentricidad decrece como 0,0000417 por siglo, tomando por unidad la distancia media de la Tierra al sol; lo que equivale a 1416 leguas por siglo, o 14 leguas por año, valuando la distancia media en 34 millones de leguas.

Si esta disminución fuese constantemente progresiva, la elipse terrestre llegaría por fin a ser una circunferencia de círculo; pero se ha demostrado que la variación de la excentricidad es periódica, de manera que después de haber menguado hasta cierto término, crecerá de nuevo, reproduciéndose en orden inverso los mismos valores, hasta llegar a un máximo, en que volverá a decrecer. Oscila pues la excentricidad entre dos límites que no están todavía señalados con exactitud (cc); oscilación eterna, si alguna causa exterior desconocida no altera las leyes que rijen el sistema del mundo.

## 8.

Hemos visto con qué facilidad se explica por la rotación diurna de la Tierra el inmenso giro aparente de las estrellas, cuerpos inmensos incommensurablemente distantes unos de otros i de la Tierra, i entre los cuales es imposible descubrir trabazón alguna, que los haga caminar en marcha uniforme, como los soldados de un regimiento, pero con una velocidad a que nada de cuanto conocemos puede compararse. Con igual facilidad se explica la aparente revolución anual del sol en torno a la Tierra. A la verdad, el diámetro de la órbita es uno mismo, cualquiera que sea de los dos el que gira en torno al otro. Pero si uno de los dos obra en el otro, i si columbramos ya aquí una influencia misteriosa de la materia sobre la materia, ¿no será natural proporcionar la acción al agente, i subordinar mas bien la Tierra al sol, que no este inmenso lumínar al pequeño globo que habitamos? Lo dicho de la rotación diurna se aplica a la rotación circular del firmamento sobre los polos de la eclíptica, de que resulta la precesión de los equinoccios; a las variaciones de la oblicuidad de la eclíptica, i a las fluctuaciones periódicas de estos dos movimientos. Para cada giro, para cada nutación de la esfera, sería preciso

(cc) Según Sir John Herschel, hai poco fundamento para dudar que el decremento de la excentricidad continuará hasta cero; para desarrollarse de nuevo hasta un máximo que no está todavía determinado.

suponer entre tantos cuerpos, tan vastos, tan distantes, un concierto inconcebible. ¡Cuánto mas simple traducir todas estas apariencias celestes en movimientos terrestres, que no hacen mas que presentarnos en grande las combinadas evoluciones i cabeceos de un trompo! Ahora bien, si cada una de estas esplicaciones, considerada de por sí, es plausible en alto grado, todas juntas se confirman i corroboran mútuamente, dándonos una clave única para interpretar los fenómenos del cielo i del sol.

Esta teoría ha sido tambien confirmada en gran parte por pruebas físicas directas (la forma elipsoide de la Tierra, i los vientos constantes); i aun no hemos hecho uso de los argumentos mas poderosos que la apoyan.

## CAPÍTULO VI.

### CONSTITUCION FÍSICA DEL SOL.

1. *Masa i densidad del sol.* 2. *Manchas.* 3. *Atmósfera solar.* 4. *Fáculas.* 5. *Rotacion.* 6. *Luz zodiacal.* 7. *Temperatura.* 8. *Constitucion física del sol, segun Arago.*

#### 1.

Ha podido apreciarse la masa del sol relativamente a la de la Tierra, comparando las atracciones de estos cuerpos; la que ejerce el sol sobre los planetas i la Tierra, con la que ejerce la Tierra sobre la luna i sobre los cuerpos sublunares. La atraccion, como veremos despues, es proporcional a la masa o cantidad de materia.

El volúmen del sol comparado con el de la Tierra ya hemos visto que es como 1,328,460 a 1. Su masa, deducida de su poder atractivo, es como 355,000 veces mayor que la de la Tierra. De estos dos datos se sigue que la densidad del sol es considerablemente menor que la de la Tierra, es a saber, como 0.267 a 1.

#### 2.

Mirado el sol con telescopios de mucha potencia, se observan en él a menudo grandes manchas perfectamente negras, rodeadas de un borde ménos oscuro, llamado *penumbra*, las cuales, de uno a otro día, i a veces dentro de pocas horas, se ensanchan o se encogen, mudan de forma, i al

cabo desaparecen del todo, para brotar donde no las habia. Cuando van desapareciendo, la mancha central se contrae hasta reducirse a un punto, i lo último que se pierde de vista es la penumbra. Otras veces se rompen, i se dividen en dos o mas. Presentan el aspecto de una movilidad i agitacion inmensa, que solo parecen propias del estado de gas. Para formar idea de la escala en que se ejecutan estos movimientos, reflexiónese que un segundo de medida angular corresponde en el disco del sol a cerca de 400 millas geográficas; que un círculo de 1" de diámetro (que seria para nosotros la menor área visible en el disco del sol) contendría como 126,000 millas cuadradas; i que se han observado manchas cuyo diámetro pasaba de 38,000 millas, i aun mucho mayores. Para que una de estas manchas desaparezca en seis semanas (i rara vez duran mas), seria menester que su borde, al encojerse, anduviese cerca de 500 millas al dia.

### 3.

La parte del disco del sol, que está exenta de manchas, no presenta un brillo uniforme. El fondo está delicadamente salpicado de menudos puntos o poros que experimentan mutaciones continuas. El aspecto es como de un fluido luminoso, mezclado, pero no confundido, con una atmósfera transparente no luminosa, flotando en ella, como las nubes en el aire, o atravesándola en vastas mantas o columnas ígneas, a semejanza de los chorros de luz de las atmósferas boreales.

### 4.

En fin, cerca de las grandes manchas, se ven anchos espacios cubiertos de rayas curvas y ramificadas, mas resplandecientes que el fondo. Llámanse *fáculas*, i entre ellas brotan a menudo manchas, cuando no las hai de antemano. Son como la cresta de inmensas olas en las regiones luminosas de la atmósfera solar, violentamente agitada.

### 5.

El sol da vueltas al rededor de su eje en 25d. 01154, segun Delambre; i segun Arayo (dd), en 25d. 12h.

La region de las manchas está circunscrita a 30° del ecuador del sol, cuyo plano está inclinado al de la eclíptica en un ángulo de 7° 20', i la corta en una línea que forma un ángulo de 80° 21' con la línea de los equinoccios.

(dd) *Lecciones de Astronomía*, traduccion castellana.

## 6.

Otro fenómeno digno de notarse, i que sin duda pende del estado actual i de la naturaleza del sol, es la auréola luminosa que lo acompaña, i a que se da el nombre de *luz zodiacal*. Se observa por la tarde, cuando el sol acaba de ponerse i en el lugar mismo por donde ha cruzado el horizonte. Su forma es la de una lenteja, colocada oblicuamente sobre el horizonte i bastante prolongada en el cielo: se estiende sin duda hasta mas allá de la órbita de Mercurio i aun de Vénus: i su color es blanquecino como el de la vía lactea. “Se ha querido atribuir la luz zodiacal,” dice Humboldt, “a cierta atmósfera del sol; pero esta suposicion es inadmisibile, segun las leyes de la Mecánica. Se esplica mejor el fenómeno, suponiendo que existe entre la órbita de Vénus i la de Marte un anillo ovalado que gira libremente al rededor del sol. Si la órbita de Mercurio o de Vénus fuese visible materialmente en toda su estension, como un rastro indeleble que el planeta dejase en su curso, la veriamos de la misma figura que la luz zodiacal, i en la misma posicion con respecto al sol. Yo no he visto en ella coloracion rojiza, ni arco inferior oscuro, ni centelleo; pero he notado varias veces en la pirámide luminosa una rápida undulacion. Su manso brillo es el eterno ornamento de las zonas intertropicales.”

Acompaña constantemente al sol; i en los eclipses totales permanece al rededor del disco a semejanza de una cabellera luminosa. Está siempre en la direccion del plano del ecuador solar, i como este varia de inclinacion respecto del horizonte en razon de las varias posiciones del sol en la eclíptica, la luz zodiacal se inclina con él, i a veces se nos oculta en gran parte, o a lo ménos se amortigua mucho su brillo por lo vaporoso de la atmósfera cerca de la superficie de la Tierra.

Parece avivarse, cuando el sol tiene muchas manchas, i debilitarse en el caso contrario.

## 7.

Que la temperatura de la superficie del sol es mucho mas alta que cualquiera de las producidas en nuestros hornos, o por operaciones eléctricas o galvánicas, parece indudable: 1.º por el calor que desde tan estupenda distancia comunica el sol a la Tierra: 2.º por la facilidad con que los rayos caloríficos del sol atraviesan el vidrio, como lo hace el calor del fuego artificial a proporcion de su intensidad; i 3.º por el hecho

de desaparecer las mas brillantes llamas i los sólidos mas intensamente encendidos, ofuscándose i convirtiéndose a la vista en manchas negras sobre el disco solar, cuando los colocamos entre él i el ojo.

Los rayos del sol son en último resultado la fuente de todos los movimientos que se despliegan sobre la superficie de la Tierra. Su calor hace variar la densidad de las diferentes regiones atmosféricas; produce los vientos; turba el equilibrio eléctrico de la atmósfera; i da origen a los fenómenos del magnetismo terrestre. Por su acción vivificante nacen i crecen i fructifican los vegetales, que alimentan a los animales i al hombre, i forman los veneros de carbon fósil, vastos depósitos de actividad mecánica, destinados al servicio de la industria humana. Por ellos las aguas del mar se evaporan, para regar en forma de lluvia, de nieve i de rocío, la tierra, i sustentar las fuentes i los rios. A ellos se deben todas las alteraciones de los elementos, que por una serie de combinaciones i descomposiciones dan a luz nuevos compuestos. El viento i la lluvia i la alternativa de las estaciones desmoronan a su vez los sólidos que componen la superficie terrestre, i que degradándolos lentamente causan las principales mutaciones geológicas. Y cuando consideramos la enorme traslación de materias que de este modo se ejecuta, el aumento de presión de la superficie terrestre en anchurosos espacios, i su correspondiente disminución en otros, no estrañamos que la fuerza elástica de los fuegos subterráneos, mas comprimida por una parte, i ménos contenida por otra, reviente, donde no encuentra suficiente resistencia, en esplosiones terríficas, i haga entrar hasta los fenómenos volcánicos en la esfera de la influencia solar.

El gran problema es explicar la estupenda conflagración que se alimenta de la masa del sol sin consumirla, sin producir en ella el mas leve menoscabo aparente.

## 8.

La opinion que pasa hoi por mas probable considera al sol como compuesto de un núcleo sólido i oscuro, rodeado de dos atmósferas, la interior oscura, la exterior luminosa. La aparición de las manchas consistiría, segun eso, en que abriéndose a trechos estas atmósferas dejan ver el núcleo del sol. La penumbra es la estremidad de la atmósfera oscura, ménos rasgada que la luminosa.

Esta opinion adquiere muchos grados de probabilidad si se tiene presente que la materia incandescente del sol no puede ser ni sólida, ni

fluida, sino gaseosa, porque la luz que emiten los sólidos i fluidos en incandescencia, goza de la propiedad de polarizarse, de que carece la de los gases como la del sol.

¿Cuál es la naturaleza de la luz del sol, i de la luz en jeneral? Unos creen con Newton que los cuerpos luminosos arrojan partículas sutilísimas de su sustancia con una celeridad prodijiosa; otros, que el fenómeno de la luz es producido por las vibraciones de un fluido llamado *éter*, esparcido en toda la naturaleza i puesto en movimiento por la presencia de los cuerpos luminosos. El primer sistema, el de la *emision*, está hoy casi jeneralmente abandonado, porque no se comprende como podria un cuerpo, el sol por ejemplo, estar perdiendo continuamente una parte de su sustancia sin que se note menoscabo alguno en su volúmen ni en su esplendor. El segundo sistema, el de las *vibraciones* o *undulaciones* del *éter*, satisface mejor a todas las condiciones, especialmente desde que los esperimentos han hecho ver una conexion íntima entre los fenómenos eléctricos i los de la luz.

## CAPÍTULO VII.

### DEL DIA I LA NOCHE, LAS ESTACIONES I LOS CLIMAS.

1. *Círculos trópicos i polares de la Tierra: zonas.* 2. *Postulados.* 3. *Círculo de iluminacion: dia, noche, i estaciones.* 4. *Climas.* 5. *Antípodas, periecos i antecos.* 6. *Predominio de la luz sobre las tinieblas: crepúsculo.* 7. *Temperatura de la Tierra.*

#### 1.

Para el asunto de que vamos a tratar, advertiremos primeramente, que, así como en el cielo, debemos concebir trazados en el globo terrestre cuatro círculos paralelos al ecuador; dos *trópicos*, que distan del ecuador cerca de  $23^{\circ} 28'$  (oblicuidad de la eclíptica), i dos *polares*, que distan otro tanto de los respectivos polos. Por medio de estos círculos queda dividida la superficie de la Tierra en cinco fajas o *zonas*: la comprendida entre los trópicos llamada *tórrida*; las dos comprendidas entre los trópicos i los polares, que se llaman *templadas*; i las otras dos encerradas dentro de los polares, i denominadas *frígid*as o *glaciales*. Luego veremos la razon de estas denominaciones.

Advertimos tambien que en este capitulo se toma la palabra *dia*, no por el tiempo que emplea el sol o cualquier punto de la esfera en volver a un meridiano; sino por el tiempo que está el sol sobre el horizonte, contraponiéndose en este sentido a la palabra *noche*.

## 2.

Siendo el sol mucho mayor que la tierra, es preciso que alumbre, a cada momento, mas de la mitad de la superficie terrestre, i que la Tierra, bañada de un lado por su luz, arroje del otro una sombra cónica. Pero este es un cono extremadamente prolongado, por la distancia inmensa de aquel luminar; i los rayos solares que limitan el cono se cruzan en un ángulo tan agudo, que para el asunto de que tratamos, que no pide una exactitud rigorosa, podemos considerarlos como paralelos, i la parte iluminada de la Tierra como de no mas extension que la parte oscura. Prescindiremos, por la misma razon, del achatamiento de la Tierra acia los polos, i la consideraremos como una esfera perfecta.

## 3.

La oblicuidad de la eclíptica es la que produce la desigualdad de los dias i la variedad de las estaciones, por los diversos aspectos bajo los cuales se presenta la Tierra al sol en el curso del año. Para concebirlo, supongamos que el círculo BEAQ (fig. 5, 6, 7) represente la Tierra, las líneas FG, F'G' los trópicos, IP, P'P' los polares. El sol está en uno de los trópicos, el de Capricornio, por ejemplo; de manera que los habitantes de G', que es un punto del trópico terrestre austral, ven aquel astro en la direccion vertical G'S. Si nos figuramos una línea recta SG'C entre el centro del sol i el de la Tierra, e imaginamos un plano perpendicular a esta línea, representado por la recta IP', que pasa por el centro de la Tierra, este plano cortará la superficie terrestre en una circunferencia de círculo, que limitará el hemisferio iluminado IG'P', i lo dividirá del hemisferio oscuro IFP'. Este límite que separa la noche del dia, se llama *círculo de iluminacion*, i cuando el sol está en el trópico de Capricornio toca por dos puntos opuestos IP' los círculos polares IP, P'P'; de modo que los paralelos de toda la zona glacial del sur están completamente dentro del hemisferio alumbrado, al paso que los paralelos de toda la zona glacial opuesta están completamente dentro del hemisferio oscuro. Los paralelos de las dos zonas templadas i de la tó-

trida tienen todos un segmento iluminado i un segmento oscuro; el primero mayor que el segundo en el hemisferio del sur, i menor en el hemisferio del norte, i la diferencia es tanto menor cuanto es menor la latitud. En el ecuador (*igualador*) la latitud es zero, i los dos segmentos son iguales.

En virtud del movimiento de la Tierra sobre su eje AB, para cada punto de la superficie es de dia desde que este punto sale de la sombra, i es de noche desde que entra en ella; i como el movimiento rotatorio es uniforme, ya se comprende que la duracion del dia i la de la noche son para cada pais como los segmentos claro i oscuro del respectivo paralelo. Si este tiene, por ejemplo, 300 grados en el hemisferio iluminado i 60 en el otro, el dia durará 20 horas i la noche 4. Por consiguiente, cuando el sol está en el trópico de Capricornio, para ningún punto de la zona glacial del sur hai noche, i ningun punto de la zona glacial opuesta ve el dia.

Todo esto sucede en el solsticio, aunque solo aproximativamente, porque el sol no hace más que tocarlo en un instante indivisible, retrocediendo luego acia la equinoccial. A medida que retrocede, i su declinacion disminuye, el círculo de iluminacion  $IP'$  se acerca a los polos AB, i los paralelos de la zona frígida del sur empiezan uno tras otro a tener un segmento oscuro, como los paralelos de la zona opuesta un segmento claro. Desde que un paralelo se halla en este caso, para los pueblos de su latitud hai noche i dia en el espacio de 24 horas. Cuando el sol se halla, por ejemplo, a  $10^\circ$  de declinacion austral, hai noche i dia en las 24 horas para todos los parajes de la Tierra que tienen menos de 80 grados de latitud; miéntras que para todos los que tienen una latitud mas alta no hai todavia noche en la zona glacial del sur, ni dia en la zona glacial del norte. Disminuyendo la declinacion del sol, el número de paralelos que comprende totalmente la sombra o la luz, es cada vez menor, i la diferencia entre el dia i la noche es cada vez mas corta en todas las otras latitudes, durando siempre el dia mas de 12 horas en el hemisferio austral, como la noche en el boreal; hasta que llegado el sol a la equinoccial (fig. 6), el círculo de iluminacion alcanza a los polos: cesa entónces el largo dia en el polo del sur, como la larga noche en el polo del norte; i en todas las latitudes de la Tierra hai dia i noche en las 24 horas, i la noche es igual al dia. De aquí el nombre de equinoccios que se da a las intersecciones de la eclíptica con el ecuador celeste (llamado por eso equinoccial), i a los tiempos del año que corresponden a la posicion del sol en ellas.

Llegado este astro a la equinoccial, sigue caminando acia el trópico de Cáncer; el círculo de iluminacion BA (fig. 6.) se aleja de los polos moviéndose acia I'P; i segun esto sucede, van entrando totalmente mas i mas paralelos en el hemisferio luminoso por el norte, i en el hemisferio tenebroso por el sur. Desde que un paralelo se halla en este caso, deja de haber para él noche i dia en el espacio de 24 horas. Si el sol se halla, por ejemplo, a 10° de declinacion boreal, hai noche i dia para todas las latitudes que no llegan a 80°; miéntras que para todas las latitudes de 80 o mas grados, principia en la zona glacial del norte una serie de dias que componen un solo largo dia en que nunca se pone el sol, como en la zona glacial opuesta una serie de noches que componen una sola larga noche en que el sol no sube nunca sobre el horizonte. Creciendo la declinacion boreal del sol, el número de paralelos que comprende totalmente la luz o la sombra, va siendo cada vez mayor, i la diferencia entre el dia i la noche es cada vez mas grande en todas las otras latitudes, durando siempre el dia mas de 12 horas en el hemisferio boreal como la noche en el austral; hasta que llegado el sol al trópico de Cáncer (fig. 7), i el círculo de iluminacion a los polares, deja de haber noche i dia en las 24 horas para todas las latitudes superiores a estos: en la zona glacial del norte no hai noche, como en la zona glacial opuesta no se ve el dia.

Retrocediendo el sol del trópico de Cáncer, se reproducen los mismos fenómenos en los dos hemisferios sur i norte, pero en un órden inverso, hasta que vuelve al trópico de Capricornio.

La época del año en que el dia crece desde la duracion media de 12 horas hasta la duracion máxima que corresponde a la latitud de cada lugar, se llama *primavera*; i la época del año en que la noche crece desde la duracion media de 12 horas hasta la máxima que corresponde a la latitud, se llama *otoño*. Por consiguiente, desde que sale el sol del equinoccio de Aries hasta que llega al solsticio de Cáncer, esto es, desde por el 20 de Marzo hasta por el 21 Junio, es la primavera del hemisferio boreal de la Tierra, i el otoño del hemisferio austral; i por el contrario, desde que el sol sale del equinoccio de Libra hasta que llega al solsticio de Capricornio, esto es, desde por el 22 de Setiembre hasta por el 21 de Diciembre, es el otoño del hemisferio boreal, i la primavera del austral.

La época del año en que el dia decrece desde la duracion máxima que corresponde al grado de latitud, hasta la duracion media de 12 horas, se llama *estío* o *verano*; i por el contrario, la época del año en que la noche decrece desde su duracion máxima hasta la media en que solo

tiene 12 horas, se llama *invierno*. Por consiguiente, desde que sale el sol del solsticio de Cáncer hasta que llega al equinoccio de Libra, esto es, desde por el 21 de Junio hasta por el 22 de Setiembre, es el estío del hemisferio boreal de la Tierra, i el invierno del hemisferio austral; i al contrario, desde que deja el sol el solsticio de Capricornio hasta que vuelve al equinoccio de Aries, esto es, desde por el 21 de Diciembre hasta por el 20 de Marzo, es el estío del hemisferio austral de la Tierra i el invierno del hemisferio boreal.

De la exposicion que acabamos de hacer se deducen los corolarios siguientes:

1.º Si el eje del globo no estuviese inclinado sobre el plano de la eclíptica no habria variedad de estaciones. El sol, siempre en la equinoccial, presentaria una sucesion eterna de dias i noches iguales.

En el ecuador no hai diferencia de estaciones. En la zona tórrida la diferencia de las estaciones es poco sensible. En las zonas templadas están perfectamente definidas las estaciones. En las zonas glaciales hai para cada paralelo una temporada del año en que la noche sucede al dia en el espacio de 24 horas; otra temporada de dia perpetuo; otra en que vuelve la sucesion de noches i dias; i otra de perpétua noche. En los dos polos no hai mas que un largo dia de seis meses, i una larga noche de igual duracion. El dia mas largo i la noche mas larga coinciden con las posiciones solsticiales del sol para todos los puntos de la Tierra.

2.º Para cada latitud la diferencia entre el dia i la noche crece con la declinacion del sol, i para cada declinacion del sol la diferencia entre el dia i la noche es tanto mayor quanto mayor la latitud.

3.º El sol en las 24 horas del dia equinoccial pasa sucesivamente por el zenit de cada punto del ecuador, i por el contrario, corre en ellas la circunferencia del horizonte de cada polo. Esto, con todo, no es mas que una aproximacion, porque se supone que el sol permanece 24 horas cabales en los equinoccios, quando realmente no hace mas que cruzarlos en un instante indivisible.

4.º El dia del equinoccio, al mediodia, la altitud del sol sobre el horizonte es el exceso de  $90^\circ$  sobre la latitud. En Santiago de Chile, por ejemplo, la altitud del sol es entónces  $90^\circ$ , ménos  $33^\circ 28'$ , esto es,  $57^\circ 32'$ ; *altitud meridiana media*.

5.º El dia del solsticio de estío llega el sol a la altitud meridiana *máxima*, que es la media, mas la oblicuidad de la eclíptica ( $80^\circ$  en Santiago); i por el contrario, el dia del solsticio de invierno desciende a la altitud *mínima*, que es la media, ménos la oblicuidad de la eclíptica, (en

Santiago  $33^{\circ} 4'$ ). De lo cual se sigue que la altura meridiana máxima, ménos la altura meridiana mínima, es el duplo de la oblicuidad de la eclíptica.

6.º En la zona tórrida pasa el sol dos veces al año por el zenit de cada punto; la sombra que arroja una estaca vertical clavada en el suelo es entónces nula, i en lo demas del año la sombra que arrojan todos los cuerpos al medio día, se dirige ya al sur, ya al norte, segun la declinacion del sol es boreal o austral. En las zonas extratropicales el lado de la sombra meridiana es constantemente el mismo de su latitud; si esta es sur, la sombra que arrojan los cuerpos es al sur.

Pero en las zonas glaciales, durante el gran día, la sombra recorre un círculo entero en el espacio de 24 horas.

En las zonas extratropicales del hemisferio norte el sol se ve siempre acia el sur, i lo señala exactamente en el instante del mediodia; de lo que provino el llamarse en ellas *mediodia* el sur. Por la misma razon, el *mediodia* de las zonas extratropicales del sur seria el norte, i en los países intertropicales ya el norte, ya el sur. Esta denominacion i su derivado *meridional* son por consiguiente equívocos, i en el uso comun impropios. Si se dice la *Europa meridional* o el *mediodia de Europa*, designando aquella parte que respecto de los europeos está situada acia donde ven el sol meridiano, ¿por qué no designaríamos en el hemisferio austral con el título de provincias meridionales de Chile las de Atacama i Coquimbo? Lomejor es no usar nunca estas palabras para significar el sur.

7.º Dando a uno de los polos, sobre el horizonte de un globo celeste artificial, una altura igual a la declinacion del sol, (que puede verse en las efemérides), el segmento superior de cada paralelo, expresado en horas, designará la duracion del día, i el segmento inferior la duracion de la noche, respecto de todos los puntos situados en el paralelo correspondiente de la Tierra. Así levantando el polo austral  $23^{\circ}$  i medio, que es la declinacion del sol en el solsticio de Capricornio, i encontrando que el segmento superior del paralelo correspondiente al de Santiago abraza como 14 horas 54 minutos, i el segmento inferior como 9 horas 6 minutos, estas dos cantidades expresarían la duracion del día mas largo i de la noche mas corta de Santiago. El sol se levantará sobre el horizonte de Santiago, acia el 21 de diciembre, como a las 4h 33m, i se pondrá como a las 7h 27m, contadas del modo vulgar (ee).

(ee) Operaciones ejecutadas de este modo en globos artificiales no dan mas que aproximaciones groseras.

Esta regla, con todo, no podrá aplicarse sino a los paralelos que no entran totalmente en el hemisferio iluminado. Si se desease saber por ejemplo, cual es la duracion del dia para el paralelo terrestre de  $80^{\circ}$  N el 1.º de junio, hallaríamos en las efemérides, que la declinacion del sol ese dia es como  $22^{\circ}$  N; el paralelo de que se trata está pues todo entero dentro del hemisferio iluminado, es decir, en su gran dia, que dura desde que el sol declina  $10^{\circ}$  N en su carrera al solsticio de Cáncer hasta que vuelve a la misma declinacion en su regreso, esto es, (segun las efemérides), desde el 17 de abril hasta el 27 de agosto.

#### 4.

Esto nos conduce a la division jeográfica de los climas.

Se llaman *climas* las pequeñas zonas comprendidas entre dos paralelos, en los cuales la mayor duracion del dia está circunscrita a ciertos límites determinados.

Climas *de media hora* son aquellos en que la mayor duracion del dia no experimenta mas variedad que la de ese espacio de tiempo. Hai 24 climas desde el ecuador hasta cada círculo polar. En el primero la duracion del dia varía desde 12 horas hasta 12 horas i media; en el segundo desde 12 horas i media hasta 13; en el tercero desde 13 hasta 13 i media; en el cuarto desde 13 i media hasta 14; &c. ¿En qué clima está Santiago, donde la duracion máxima del dia es de 14h 54' ? En el sexto donde la duracion máxima varía desde 14 horas i media hasta 15.

Climas *de meses* son aquellos en que la duracion máxima del dia llega a variar hasta un mes entero. En el primero de estos climas, que principia en el círculo polar, el gran dia varía desde 24 horas hasta un mes; en el segundo desde un mes hasta dos; en el tercero desde dos meses hasta tres; i así sucesivamente hasta llegar al polo. Hai por consiguiente seis climas de meses desde cada círculo polar hasta el polo.

Son, por todos, 60 climas; 30 a cada lado del ecuador. Esta clasificacion es usual; i representa hasta cierto punto la temperatura de los diversos paises de la Tierra, en cuanto depende de la direccion en que la hieren los rayos del sol. Cuanto mas se acerca esta direccion a la vertical, es mas alta o calorosa la temperatura; que baja por tanto gradualmente del ecuador a los polos. Pero hai muchas otras influencias que modifican los efectos de la latitud.

## 5.

La siguiente clasificacion, aunque antigua, es mas curiosa que útil. *Antipodas* (piés opuestos) son dos pueblos que viven a una misma latitud, en hemisferios opuestos, i con  $180^\circ$  de longitud entre sí. El dia máximo del uno es la noche máxima del otro, i el mediodia del uno la media noche del otro.

*Periecos* (casa a la vuelta) son dos pueblos que viven a una misma latitud, en un mismo hemisferio, pero con  $180^\circ$  de longitud entre sí. El dia máximo del uno corresponde a la noche mínima del otro, i el mediodia del uno a la media noche del otro.

*Antecos* (casa enfrente) los que viven a una misma latitud en opuestos hemisferios, pero en un mismo semimeridiano terrestre. El dia máximo del uno corresponde al dia mínimo del otro, i el mediodia del uno al mediodia del otro.

## 6.

Hai varias causas que contribuyen a dilatar el imperio de la luz i a estrechar el de las tinieblas.

La primera consiste en que los rayos del sol no son verdaderamente paralelos; de que resulta que la parte de nuestro globo alumbrada por la luz solar directa, es algo mayor que la oscura.

La segunda es la refraccion atmosférica, que, como dijimos en otro lugar, hace aparecer los astros sobre el horizonte cuando están todavía debajo. Este efecto de la refraccion es mayor cabalmente en las rejiones circumpolares, donde el frio condensa el aire, i la conjelacion casi perpetua del suelo hace mas rápida la disminucion de la densidad de la atmósfera a pequeñas alturas. Así, en 1597, tres holandeses, que aprisionados por los yelos pasaron un invierno en la Nueva Zembla, vieron despues de tres meses de noche aparecer el sol al mediodia sobre el horizonte, catorce dias ántes de lo que en aquella latitud le aguardaban. Por una razon semejante debe ser mas fuerte la refraccion atmosférica de la mañana, anticipando el nacimiento del sol algo mas de lo que retarda su ocaso.

La tercera de las causas dichas es la magnitud considerable del disco solar. Hasta aquí hemos colocado el principio de la duracion del dia en el momento en que el centro del sol atraviesa el horizonte racional, siendo así que debemos colocarlo en el momento en que el borde supe

rior del disco cruza el horizonte sensible. Por una parte la paralaje atrasa el primer destello del dia; por otra la magnitud del disco lo adelanta. Pero la paralaje horizontal del sol no alcanza a  $9''$ , i su mínimo semidiámetro aparente es de mas de  $15'$  i medio.

La cuarta de las causas que contribuyen a hacer mas larga la duracion del dia, es el achatamiento de la Tierra, que aumenta un poco el alcance de los rayos solares acia los polos.

La quinta es la *reflexion* atmosférica que produce el crepúsculo.

En efecto, la claridad no es solo producida por la luz solar que viene a los ojos directamente, despues de haber solo sufrido el leve desvío de la refraccion atmosférica. Las partículas aéreas reflejan ademas una no pequeña cantidad de rayos, dispersándolos en todas direcciones. Si no fuera por eso, ningun objeto se nos hiciera visible fuera del alcance de los rayos directos; todo aposento a que no llegasen, estuviera envuelto en espesas tinieblas; i la sombra de cualquiera nube derramara una oscuridad profunda sobre todos los objetos que cubriese; cuando, por el contrario, vemos que hai siempre una transición gradual de la luz a la oscuridad completa, sea que nos alumbremos con los rayos solares, o con medios artificiales.

A esta potencia reflectiva de la atmósfera se debe el *crepúsculo*, es decir, aquella especie de claridad, gradualmente mas viva o mas débil, que precede o sigue al aparecimiento del sol. Cuando precede, se llama tambien *aurora* o *alba*.

Por la mañana los rayos del sol iluminan las nubes, las cumbres i cuevas de los montes, las torres i techos, ántes de llegar al suelo; i por la tarde esos mismos objetos se nos oscurecen uno en pos de otro; los mas bajos primero i sucesivamente los mas altos. Esto mismo sucede en las partículas aéreas] de que se compone la atmósfera, i cuya elevacion sobrepaja a la de las mas encumbradas cordilleras. Recibiendo los rayos del sol, mucho ántes que nosotros, envian a la Tierra una claridad tanto mas viva quanto mas cercano está el sol al horizonte, i mas grande es la masa atmosférica que ilumina.

Se sabe por la esperiencia que el crepúsculo no es sensible cuando el sol está mas de  $18^\circ$  debajo del horizonte; bien que algunos astrónomos creen que el de la tarde dura mas que el de la mañana, a causa de que la atmósfera se calienta i se levanta por el calor del dia; lo que hace que los rayos puedan reflejarse a mayor altura. Otra consecuencia del mismo principio es que la vislumbre crepuscular dure ménos en el invierno que en el estío, como parecen confirmarlo las observaciones.

El círculo crepuscular colocado a los  $18^\circ$  debajo del horizonte debe pues considerarse como un término medio.

La oblicuidad de los paralelos de declinacion crece con la latitud terrestre; con la oblicuidad de los paralelos se aumenta el número de grados del arco interceptado entre el horizonte i el círculo crepuscular; i como la duracion del crepúsculo es a proporcion del número de grados interceptado, se sigue que, a una misma declinacion, es siempre mas largo el crepúsculo en las latitudes mas altas. El mínimo de su duracion estará en el ecuador i el máximo en los polos.

Por otra parte, la magnitud de los paralelos de declinacion mengua continuamente segun se alejan de la equinoccial, i esto hace que sean mas pequeños los grados, i mayor el número de ellos que caben en el arco interceptado; de que se sigue que, en jeneral, a una misma latitud terrestre se alarga el crepúsculo segun crece la declinacion del sol. Atendiendo a esta consideracion, el crepúsculo de los equinoccios será el mas corto del año, i el de los solsticios el mas largo. Cuando el segmento inferior del paralelo no llega al círculo crepuscular, el crepúsculo dura toda la noche, como sucede en Paris i Lóndres en el solsticio de estío

Los crepúsculos aumentan mas de dos horas la duracion del día, i en las zonas glaciales muchísimo mas. La aurora equinoccial del ecuador, que es la mas corta posible, no dura ménos de una hora i doce minutos; i Biot calcula que los dos crepúsculos de la aurora i de la tarde reducen a 70 dias los seis meses de la noche polar.

Hemos dicho que en cada latitud el crepúsculo de los equinoccios es el mas corto del año. Una análisis rigorosa demuestra que esta asercion no es admisible sino dando a las épocas equinociales una significacion lata, que abraçe cierto número de dias; porque los crepúsculos mas cortos distan mas o ménos de los verdaderos equinoccios, segun las diferentes latitudes. Así los mas cortos respecto de Paris son acia el dia 2 de marzo i el dia 10 de octubre; el primero como 19 dias ántes del equinoccio, cuando el sol está en el paralelo de  $7^\circ 20'$  S; el segundo como 17 dias despues del equinoccio, a la declinacion de  $6^\circ 30'$  S. Esto muestra que en las pequeñas declinaciones de invierno i de otoño el crepúsculo dura ménos que en las declinaciones correspondientes de primavera i estío. Podemos con todo desatender esta diferencia en una materia en que solo es posible obtener resultados jenerales i aproximativos, por las diversas configuraciones del suelo, por las mutaciones atmosféricas, i por la dificultad de fijar el momento preciso en que raya o expira el crepúsculo.

Aunque parece desde luego ser el sol la fuente del calor que fecunda la Tierra, ¿no será posible que nuestro globo tenga tambien un calor propio, independiente de la presencia del sol? La temperatura se mantiene constante en los subterráneos. Mas allá de los 27 a 30 metros de profundidad, no se sienten los crudos frios del invierno, ni los calores ardientes del estío. Los yelos acumulados que cubren las mas altas cumbres, se derriten por la base cuando tienen bastante espesor para defender del frio exterior los terrenos en que descansan; formando así corrientes de agua viva aun durante el invierno. Algunos físicos miran estos fenómenos como señales de una antigua conflagracion, i suponen que la superficie de la Tierra, enfriándose lentamente, ha llegado a la temperatura que hoy tiene, mientras lo interior de la masa ha podido conservar una parte considerable de su calor, que llaman *central*. Otros creen explicarlos por la accion de los rayos solares. Cada año envía el sol a la Tierra una cantidad de fuego, que si se acumulase sin cesar, la hubiera puesto en un estado permanente de combustion; pero una gran parte se disipa incesantemente en el espacio por medio de la radiacion que experimentan, como es bien sabido, todos los cuerpos calientes. Estas dos causas, radiaciones solar i terrestre, mantenidas por millares de siglos, han debido al cabo equilibrarse, dando a la Tierra una temperatura constante.

Los varios parajes de la Tierra no están colocados en situaciones bastante favorables para recibir los rayos del sol, que hieren perpendicularmente la zona tórrida, caen oblicuos sobre las templadas, i abandonan las glaciales durante largas temporadas. Varía tambien la accion del sol en las diversas estaciones, ya porque en la primavera i el verano los rayos se acercan a la direccion perpendicular, de que se apartan en el otoño i el invierno; ya, por la acumulacion del calor o su disminucion progresiva, segun crece o mengua la duracion del dia. Es constante que la temperatura media del globo terrestre decrece del ecuador a los polos; no obstante las vicisitudes de las estaciones i lo que contribuyen a modificarla por una parte las circunstancias locales, por otra la habitacion misma i los trabajos del hombre.

Decrece tambien el calor a medida que nos elevamos sobre la superficie terrestre; decremento mas rápido cuanto mas alta la temperatura de los lugares inferiores. Así en Europa es preciso subir 160 metros en el estío para que el termómetro descienda un grado centesimal, i en

invierno es menester subir 230 metros para obtener igual descenso. En virtud de este decrecimiento sucede en todos los países, aun los de la zona tórrida, que la cima de los montes elevados se cubre de nieves eternas, mas o ménos altas, segun la latitud de cada país. En las rejiones ecuatoriales empiezan a verse a 4,800 metros de altura, en las zonas templadas a 2,900 metros; i bajan gradualmente hasta la superficie de la Tierra en la cercanía de los polos, donde el suelo se mantiene constantemente en un estado de conjelacion.

La vecindad del mar influye tambien no poco en la temperatura, distribuyéndola con mas igualdad en el año; lo que proviene sin duda de que la masa de las aguas se mezcla i revuelve continuamente por la accion de los vientos i del sol i la luna que las ajitan, aun prescindiendo del movimiento causado en ellas por las variaciones de la temperatura sobre su superficie. Enfriadas las capas mas altas del océano, descienden, i por el contrario, recalentadas trasmiten el exceso de calor a las inferiores, tendiendo siempre a producir una temperatura media, que se difunde por las bajas rejiones atmosféricas. Mitigan de este modo en las tierras vecinas el rigor del invierno, i las refrijeran en el estío, favoreciendo así a la vejetacion i a la vida orgánica.

Un fenómeno curioso es el de los grandes frios del polo austral, que exceden con mucho a los que se observan en el norte a latitudes iguales; pues los bancos de yelo que en el hemisferio boreal no se alejan mucho del polo, en el hemisferio del sur se adelantan sin derretirse hasta latitudes como las de la Francia septentrional. Este efecto, que parece deberse enteramente a causas locales, se hace mas reparable por la igualdad de la temperatura media a los dos lados del ecuador hasta los 44° (ff).

(ff) El ilustre Humboldt enumera en su *Cosmos* las causas que modifican mas o ménos los efectos de la latitud sobre la temperatura en los varios países.

Entre los que contribuyen a hacerla subir, cuenta:

La configuracion de un continente que termina en numerosas penínsulas, i los mediterráneos i golfos que penetran profundamente en él.

La vecindad de un mar libre de yelos que se estiende mas allá del círculo polar, o de un continente estenso, situado en el ecuador o en la zona tórrida.

La exposicion a los vientos que soplan de países templados o cálidos, i las cadenas de montes que sirven de muralla i abrigo contra los vientos que soplan de países mas frios.

La falta de marjales cuya superficie permanezca cubierta de yelo en la primavera i hasta entrado el estío.

La falta de bosques en un suelo seco i arenoso.

La serenidad constante del cielo en los meses de estío.

I la vecindad de una corriente marina que arrastre aguas mas cálidas que las de la mar adyacente.

Entre las causas que hacen bajar la temperatura, menciona :

## CAPÍTULO VIII.

## DE LA LUNA.

1. *Orbita i período sideral de la luna.* 2. *Dimensiones de la luna.*  
 3. *Magnitud de la órbita lunar; nodos; movimiento espiral de la luna; movimiento de los ápsides.* 4. *Fases.* 5. *Eclipses i ocultaciones.* 6. *Perturbaciones seculares i periódicas de la órbita lunar.* 7. *Rotacion de la luna; libracion.* 8. *Observaciones lunares.* 9. *Constitucion física de la luna.*

## 1.

La luna es del número de los astros errantes, que tienen un movimiento propio, con que parecen trasladarse de una parte a otra del cielo. Despues de haber pasado por el meridiano al mismo tiempo que una estrella o que el sol, se atrasa mas i mas cada dia, en sentido contrario al de la rotacion diurna de la esfera. Parece pues moverse de occidente a oriente, i aun con mas velocidad que el sol. En efecto, da una vuelta completa al cielo en un período medio de 27d. 7h. 43m. 11s.5, que se llama período *sideral*; al cabo del cual retorna próximamente a la posicion que ocupaba entre las estrellas al principio de su carrera.

Gira al rededor de la Tierra, i su órbita no difiere mucho de un círculo, puesto que el diámetro aparente de la luna varía poco. La distancia media entre el centro de la luna i el de la Tierra, deducida de su paralaje horizontal, i averiguada tambien por otros medios, es de 59.9643 radios ecuatoriales terrestres, que es mui cerca de 60, i equivale a poco mas de 85,700 leguas. Por grande que sea esta distancia, apenas excede a la cuarta parte del diámetro del sol, de modo que en el espacio ocupado por este gran lumínar podrian caber casi dos órbitas de la luna, sin entrar una en otra.

La elevacion sobre el nivel del mar.

La configuracion compacta de una costa sin golfos.

La vecindad de una rejion cubierta de yelos i nieve todo el año.

La falta de una tierra tropical vecina.

Montañas que impiden el acceso de vientos templados o cálidos.

Cumbres nevadas de que descienden corrientes de aire frio.

Bosques extensos. Su sombra impide que los rayos solares hieran el suelo, i sus hojas provocan la evaporacion de una gran cantidad de agua en virtud de su actividad orgánica, i aumentan la superficie capaz de enfriarse por la radiacion del calórico.

Hállase, pues, la luna, comparativamente hablando, bastante cerca del globo terráqueo; i de aquí nace que cuando está en el zenit, i se la mira desde la superficie de la Tierra, sea sensiblemente mas grande su disco (medido con exactitud), que cuando está en el horizonte; debiendo haber entre las dos distancias la diferencia de un radio terrestre, esto es, de  $\frac{1}{60}$ , ó poco ménos.

## 2.

El diámetro de la luna es como 0.2729 del diámetro ecuatorial terrestre o como 780 leguas jeográficas. El volúmen de la luna es por consiguiente  $\frac{1}{49}$  o como la quincuagésima parte del de la Tierra.

## 3.

La órbita aparente de la luna es elíptica, como la de la Tierra; pero mas excéntrica. En efecto, el máximo del diámetro aparente de la luna es  $33' 32''$ , i el mínimo  $29' 22''$ ; el primero mayor que el máximo diámetro aparente del sol, i el segundo menor que el mínimo: debe pues haber igual razon entre los radios vectores máximo i mínimo. Así la excentricidad alcanza a 0.05484 de la distancia media o semi-eje mayor de la elipse; i en uno de los focos de esta curva está el centro de la Tierra, al rededor del cual describe el centro de la luna áreas proporcionales a los tiempos (gg). La luna es por consiguiente un planeta secundario, un *satélite* de la Tierra. El plano de su órbita está inclinado al de la eclíptica en un ángulo de  $5^{\circ} 8' 48''$ , i la corta en dos puntos llamados *nodos*: el nodo *ascendente* es en el que pasa la luna del lado austral de la eclíptica al lado boreal; el *descendente* es el opuesto. Se consideran tambien en la elipse lunar *apojeeo*, *perijeeo* i *línea de los ápsides*; palabras cuyo significado sabemos ya.

Pero si la elipse descrita por la Tierra conserva durante muchísimas revoluciones una misma situacion respecto de las estrellas, no así la elipse de la luna, que muda de posicion sideral aun en una sola revolucion, i pasa continuamente de un plano a otro, trazando como una línea espiral; de que resulta que los nodos experimentan un retroceso continuo en la eclíptica.

Este atraso es de  $3' 10''$ . 64 al dia por término medio; de manera que en un período de 6793. 39 dias solares medios, que hacen

(gg) Esto no debe entenderse sino aproximativamente, como se verá despues.

como 18.6 años, corre un nodo toda la circunferencia de la eclíptica; de que se sigue que acia la mitad de este período tiene la órbita lunar una posición inversa de la que tuvo al principio; el nodo ascendente habrá ocupado el lugar del nodo descendente i vice-versa. La luna hará entonces su camino aparente por constelaciones del todo diversas; i moviéndose continuamente en esta especie de espira, a un tiempo u otro habrá cubierto con su disco cada punto del cielo que está dentro de aquella latitud a que la inclinacion de su órbita a la eclíptica le permite llegar; es decir, cada punto de una faja de  $10^{\circ} 18'$  de anchura, cuya línea mediana es la eclíptica. Sin embargo, en una sola revolucion el lugar que en virtud de este movimiento ocupa la luna, se desvía mui poco del que ocuparía si se mantuviese inmóviles los nodos: partiendo de uno de ellos, la latitud de la luna, despues de dar esta una vuelta completa en lonjitud, no pasa de  $8'$ .

El eje de la órbita lunar tiene tambien movimiento directo, es decir, de occidente a oriente, mudando continuamente de direccion en el espacio, como el eje de la órbita terrestre, pero con mucha mas velocidad, pues ejecuta una revolucion completa en 3232.57 dias solares medios, que hacen cerca de 9 años; lo cual equivale a poco mas o ménos 3 grados en una revolucion completa de la luna; de modo que en cuatro años i medio ocurre el apojeo donde ántes el perijeo. Prodúcese pues por este medio una variacion de la distancia de la luna a la Tierra, que se aparta de las reglas del movimiento elíptico, i que, si bien insignificante en una sola revolucion, en el trascurso de muchas llega a ser bastante considerable.

La revolucion *anomalística* de la luna, esto es, su revolucion con respecto a los ápsides, o su retorno al perijeo, es de 27d 13h 18m 37s. 44.

#### 4.

Como la distancia del sol a la Tierra es de 23984 radios terrestres, i la de la luna de no mas que 60, la primera es como 400 veces la segunda. Líneas, pues, tiradas del sol a cada punto de la órbita lunar pueden considerarse como paralelas. Supongamos ahora que sea (fig. 8) O la Tierra; A, B, C, D, &c. varias posiciones de la luna en su órbita; i S el sol a la enorme distancia que dejamos dicha. El hemisferio iluminado de la luna será siempre el que está vuelto acia el sol, i el otro el oscuro. En la posición A, que es de *conjuncion* con el sol, el hemisferio oscuro está todo vuelto acia la

Tierra; no se vé pues la luna: es *luna nueva*. Llegada la luna a C, la mitad del hemisferio iluminado i la mitad del oscuro se presentan a O, i lo mismo sucede en la posicion opuesta G; *cuarto creciente* i *cuarto menguante*. En E, donde la luna se halla en *oposicion* con el sol, todo el hemisferio iluminado estará vuelto acia la Tierra: *luna llena*. En las posiciones intermedias B, D, F, H, las porciones de la faz brillante presentadas a O, serán primero mas pequeñas que la mitad del disco, luego mas grande, i luego otra vez menores, hasta que desaparece del todo, encontrándose la luna otra vez en A. Llámense *fases* estos diferentes aspectos; ellos prueban que la luna es, como la Tierra, un cuerpo opaco. A la oposicion i a la conjuncion se da el nombre de *sizijias*; al cuarto creciente i al cuarto menguante el de *cuadraturas*.

El *mes lunar* es determinado por la repeticion de estas varias fases, i corre de luna nueva a luna nueva. Como el sol parece caminar en el cielo en la misma direccion que la luna, aunque con mas lentitud, la luna tiene que hacer algo mas que una completa revolucion sidérea para hallarse otra vez en conjuncion con el sol: el mes lunar, o el tiempo que en ello invierte, es llamado en astronomía *período sinódico*. Así miéntras el período sideral dura, como ántes dijimos, 27d 7h 43m 11s. 5, el período sinódico alcanza a 29d 12h 44m 2s. 87.

Que la Tierra envía luz a la luna, como la luna a la Tierra, i probablemente mas viva en razon del mayor volúmen de nuestro globo, es una consecuencia precisa de la propiedad que tiene la luz de reflejarse en los cuerpos opacos. La que el sol emite a cada momento, recibida en estos dos globos, se absorbe en parte, i en parte se refleja, esparciéndose en todas direcciones, i pasando así de uno de ellos al otro. Por este medio se explica la apariencia de aquella porcion oscura que completa el volúmen de la luna i que puede verse poco ántes o poco despues de la conjuncion. Entónces está llena la Tierra con respecto a la luna, esto es, tiene vuelto acia ella todo su hemisferio iluminado, i alumbrá mas vivamente el lado oscuro de la luna con los rayos solares que la envía, i que reflejados de nuevo en él nos lo hacen visible. Obsérvase entónces que en la parte iluminada de la luna se aumenta la convexidad del borde o limbo; ilusion óptica producida por la mayor intensidad de la luz.

## 5.

Siendo la luna el astro mas vecino a nosotros, es de necesidad que algunas veces se interponga entre nosotros i cualquier otro astro que se

halle dentro de la faja de  $10^{\circ} 18'$  arriba descrita, ocultándolo en todo o parte a nuestra vista. El sol mismo no está exento de estas ocultaciones o *eclipses*, cuando el disco de la luna cubre para nosotros el disco solar, en todo o parte. El eclipse de sol disminuye, como todos saben, la claridad del día; i cuando es total (que rara vez sucede) produce una oscuridad completa, que hace visibles las estrellas. El eclipse anular del sol es otro fenómeno curioso, en que el borde del sol presenta por unos pocos minutos la apariencia de un círculo luminoso al rededor del disco oscuro de la luna, que se proyecta todo sobre el disco solar.

El eclipse del sol no puede tener lugar sino cuando la luna está a la misma longitud que aquel luminar; lo que solo sucede en la conjunción o luna nueva. Como la órbita lunar está inclinada mas de  $5^{\circ}$  a la eclíptica, sucede a menudo que la igualdad de longitudes de los dos astros se verifica cuando la luna dista demasiado de la eclíptica para que su disco se proyecte sobre el del sol; i por consiguiente hai muchas veces conjunción sin que este astro se eclipse.

Llámanse propiamente *ocultaciones* las de las estrellas, cuando se interpone entre ellas i nosotros el disco lunar. Por supuesto, son siempre totales, i suceden no ménos detras de la parte oscura de la luna que detras de la parte iluminada. En este segundo caso vemos acercarse poco a poco la luna a la estrella hasta que la tapa; al paso que en el primero sucede de improviso el fenómeno, sin que se vea la causa que lo produce, como si la estrella se apagase de un soplo; del mismo modo que cuando emerge por el lado oscuro parece instantáneamente encenderse.

La luna se eclipsa como el sol; pero por una causa diversa: la Tierra intercepta los rayos solares, i arrojando su sombra sobre la luna, la oscurece toda o en parte. En el eclipse solar que siempre sucede en conjunción o luna nueva, este astro se interpone entre el sol i la Tierra; en el lunar, que no puede acaecer sino en oposición o luna llena, la Tierra se interpone entre el sol i la luna.

En jeneral, podemos considerar los eclipses como producidos por la sombra que un cuerpo arroja sobre otro, interceptando la luz de un luminar mucho mayor que cualquiera de ellos. Sea (fig. 9) AB el sol, i CD un cuerpo esférico (la luna o la Tierra) iluminado por el primero. Tirense i prolonguense las tangentes AC i BD. Como AB es mayor que CD, AC i BD se encontrarán en E, a mas o ménos distancia del cuerpo CD, segun los tamaños de los dos cuerpos i la distancia a que el uno se halle del otro. El espacio CED representa pues un cono, i todo él será ocupado por la sombra de CD, llamada *umbra*. Un espectador situado dentro de ella, no puede ver parte alguna del disco so-

lar. Tírense ahora i prólónguense AD i BC. Mas allá de la úmbrá habrá dos espacios que la abracen (o mas bien un espacio continuo perteneciente al cono FKG); en los cuales colocado un espectador, por ejemplo en M, veria solo una porcion AONP del sol, i por tanto no gozaria sino de una luz solar comparativamente débil, pero tanto mas clara, cuanto mas vecino se hallase a la línea CF, DG, sin salir del espacio ECF, EDG. Esta sombra es mas o ménos clara se llama *penumbra*. Todas estas circunstancias pueden manifestarse poniendo una pequeña bola en el sol, i recibiendo su sombra a diferentes distancias sobre un pliego de papel.

En un eclipse lunar (figura superior) la luna entra primero en la penumbra, i por grados en la umbra, orlada esta por aquella como por una especie de niebla. El cono de la umbra terrestre se extiende mucho mas allá de la luna por el mayor volúmen de la Tierra i la moderada distancia a que se halla aquel astro; lo que facilita mucho los eclipses lunares. Pero cuando es la luna el cuerpo interpueto, la extremidad de la umbra unas veces llega a la Tierra i otras no. En el primer caso (figura inferior) cae sobre la superficie de la Tierra una sombra negra rodeada de una sombra mas débil, fuera de la cual no hai eclipse para ningun país de la Tierra; pero dentro de este límite hai eclipse; para el espectador colocado en la umbra, total; para el que está colocado en la penumbra, parcial. Cuando solo el ápice de la umbra cae sobre un punto de la superficie de la Tierra, la luna respecto de ese punto cubrirá por un instante todo el sol; pero si el ápice no toca la Tierra, no habrá eclipse total en ninguna parte de la superficie terrestre, i un espectador colocado en la prolongacion del eje del cono, o muy cerca de ella, verá proyectarse toda la luna sobre el sol, sin tapanlo enteramente; verá, por consiguiente, un eclipse anular.

En virtud del ajuste notable con que se ejecuta la revolucion sinódica de la luna, i la de sus nodos, se repiten los eclipses, en ciertos períodos, muy próximamente en el mismo orden i de la misma magnitud. Porque 223 *lunaciones*, o revoluciones sinódicas medias, ocupan 6585.32 dias, i 29 revoluciones completas del nodo ocupan 6585.78 dias. La diferencia, pues, en la posicion media del nodo, al principio i al fin de 223 lunaciones, es casi insensible; de que resulta la reproduccion de los mismos eclipses en ese tiempo. Esto hace importantísimo el período de 223 lunaciones, o 18 años i 10 dias, en el cálculo de los eclipses. Créese que lo conocieron los Caldeos con el nombre *saros*; lo cierto es que el retorno periódico de los eclipses fué conocido por siglos como un hecho físico, ántes de haberse comprendido bien la teoría de estos fenómenos.

El principio, duracion i magnitud de un eclipse lunar se calculan mucho mas fácilmente que los de un eclipse del sol, por ser independientes de la posicion del espectador en la superficie de la Tierra, i aparecerle siempre como si lo viese desde el centro. La umbra i la penumbra tienen un centro común situado en la eclíptica en un punto opuesto al sol. De aquí el nombre dado a la *eclíptica*; línea de los eclipses.

## 6.

En el estado actual, el movimiento de la luna, tomando un término medio de algunos siglos, se acelera progresivamente; pero la teoría de la atraccion, que ha dado a conocer la causa, demuestra que despues de haberse aumentado la velocidad hasta cierto punto, empezará a retardarse de siglo en siglo, para volver a acelerarse de nuevo. Grande es el espacio de tiempo que este período debe abrazar, puesto que la aceleracion observada es como de 11 segundos por siglo; comparada con él, puede decirse que la historia toda de la astronomía i de la raza humana es un instante. La posteridad, dice Biot, notará con un sentimiento de gratitud, que los jeómetras de nuestro siglo han previsto i calculado estos grandes fenómenos, preparándoles así los medios de conocer lo pasado i lo futuro en el sistema del mundo, con tanta seguridad como lo presente.

Esta variacion, en el movimiento secular de la luna, hace precisamente que duren mas o ménos en diferentes épocas sus revoluciones trópicas, anomalísticas, sinódicas i siderales. La determinacion de estos períodos no podrá pues servir sino para un corto número de siglos; i los esfuerzos que se hagan para formularlos con una exactitud invariable, serán siempre infructuosos.

El movimiento de los ápsides i de los nodos de la órbita lunar se retardan, miéntras el de la luna se acelera.

La misma análisis que ha desenvuelto estos fenómenos, hace ver que la distancia de la luna a la Tierra, la excentricidad i la inclinacion de su órbita, están sujetas a fluctuaciones seculares ligadas a las del movimiento medio, i aunque sus efectos han sido poco sensibles hasta el dia, en la serie de los siglos será necesario tomarlos en cuenta.

Pero aun prescindiendo de las variaciones seculares, el movimiento elíptico que hemos descrito representa imperfectamente el curso de la luna. Este astro experimenta perturbaciones periódicas cuyo efecto es bastante notable.

En rigor, la luna no jira al rededor de la Tierra, sino ámbas al rededor de su centro comun de gravedad, miéntras que este centro se mue-

ve en órbitas elípticas al rededor del sol. Si trazamos pues la verdadera línea descrita por el centro de la luna o la Tierra, hallarémolos que ambas jiran en torno al sol, describiendo no una exacta elipse, sino una curva undulada como la de la fig. 3; salvo que las undulaciones no pasan de 13 en una revolucion completa. Las excursiones de la Tierra a los dos lados de la elipse son tan pequeñas que apenas pueden apreciarse. El centro comun de gravedad de la Tierra i la luna está siempre dentro de la superficie terrestre, de modo que la órbita mensual que traza el centro de la Tierra en torno al centro comun, está comprendida dentro de un espacio menor que el tamaño de la misma Tierra. Las excursiones de la luna tienen mucha mas amplitud.

De aquí resultan desigualdades periódicas de varias especies, i de que no podemos ni hacer mencion siquiera en una obra como la presente. Unas afectan la longitud de la luna, otras la latitud, otras el radio vector. Cuál desaparece en las sizigias i llega a su máximo en las cuadraturas; cuál retarda el movimiento de la luna en los seis meses que emplea la Tierra para pasar del perihelio al afelio, i lo acelera en los otros seis meses; cuál, en fin, produce una especie de oscilacion o bamboleo en la inclinacion de la órbita. Ha sido preciso calcularlas todas para la formacion de las tablas lunares.

## 7.

Observando las manchas de la luna se observa que nos presenta siempre con corta diferencia un mismo hemisferio, porque mientras da una vuelta completa al rededor de la Tierra, da tambien una vuelta completa sobre su eje, que es proximamente perpendicular al plano de su órbita. Es pues igual el período de su movimiento rotario al de su movimiento de revolucion. El hemisferio visible, sin embargo, no es exacta i constantemente uno mismo; i en esto consiste el fenómeno de la *libracion* que vamos a describir.

Aunque las manchas son permanentes en su situacion relativa, i conservan unas mismas dimensiones i formas, manifestando así estar fijas en la superficie de la luna, varían algo de posicion aparente en el disco, pues alternativamente se acercan al borde i se retiran, i las que están vecinas a él, se nos muestran i se nos ocultan en oscilaciones periódicas, que aparentan en el globo lunar una *libracion* o balance. Este fenómeno es el resultado de varias ilusiones ópticas. La primera consiste en que mientras el movimiento de revolucion de la luna está sujeto a desigualdades periódicas que lo aceleran i lo retardan, el de rotacion es

rigorosamente uniforme; i no habiendo un perfecto ajuste entre ámbos, es necesario que las manchas parezcan moverse ya en un sentido ya en otro, como si la luna se moviese a un lado i otro del radio vector que une su centro al de la Tierra. La segunda apariéncia óptica consiste en que el eje de rotacion no es exactamente perpendicular al plano de la órbita: la luna, en consecuencia, nos descubre ya uno ya otro de sus polos, a la manera que el eje de la Tierra presenta alternativamente los suyos al sol; de lo cual procede que las manchas no guarden una misma elevacion sobre el plano de su órbita, i que aun algunas parezcan pasar de un lado de este plano al otro. En fin, la tercera ilusion proviene de que la observamos en la superficie de la Tierra i no en el centro, que es el verdadero punto a que la luna tiene siempre vuelta una misma faz; lo que hace que el contorno aparente de su disco varíe para el observador segun es mas o ménos la elevacion de la luna sobre el horizonte. Llámase la primera de estas apariéncias, *libracion en longitud*; la segunda, *libracion en latitud*; la tercera, *libracion diurna*.

### 8.

La luna es el astro de que se saca mas partido en la astronomía, en la geografía i en la náutica.

Si hubiese en el cielo, dice Sir John Herschel, un reloj con muestra i puntero, que señalase siempre el tiempo local de Greenwich, se determinaria fácilmente la longitud de cualquier paraje de la Tierra, comparando el tiempo local de ese paraje con el que ese reloj señalase. El oficio de la muestra i puntero es este: la primera tiene una serie de marcas, cuya posicion se sabe; el segundo, recorriendo las marcas, nos informa, por el lugar que con respecto a ellas ocupa, de la hora que es, o del tiempo que ha corrido desde que estuvo en cierto paraje de la muestra. En los relojes las marcas de la muestra están distribuidas ordenada i uniformemente sobre una circunferencia cuyo centro es el punto de apoyo, sobre el cual gira con movimiento uniforme el puntero. Pero ya se deja ver que sabríamos la hora con igual certidumbre, bien que con ménos facilidad, aunque las marcas no estuviesen distribuidas a intervalos iguales en la circunferencia, i aunque el puntero no girase sobre el centro, ni con movimiento uniforme; con tal que supiésemos, primeramente, los intervalos exactos a que las horas i minutos estuviesen marcados en la muestra, (lo que seria posible conseguir por medio de tablas en que los viésemos consignados a consecuencia de esmeradas mensuras); con al que supiésemos así mismo la excentricidad del punto sobre que gira

el puntero; i con tal, en fin, que supiésemos a cada momento la velocidad con que el puntero se mueve, de manera que pudiésemos computar con toda seguridad cuánto tiempo corresponde a cada porcion de su movimiento angular.

Ahora bien; la esfera estrellada es la muestra; las estrellas son las marcas, i el puntero es la luna. A primera vista el giro de este puntero parece hacerse con velocidad uniforme; pero bien mirado se nota que su marcha es regulada por leyes prodigiosamente complexas e intrincadas, i que obediente a esas leyes, da cada mes una vuelta completa, pasando visiblemente sobre ciertas estrellas i tapándolas, i deslizándose al lado de otras, u ocupando los espacios intermedios. Su posicion entre las estrellas puede medirse exactamente por medio de un instrumento a propósito, el sextante; de la misma manera que si en un reloj de sol averiguásemos con un compas el lugar preciso del puntero entre las marcas de la circunferencia para deducir por una regla de proporcion la hora exacta que es. Pero hai mas. En virtud de la paralaje, la posicion de la luna es diferente para los varios lugares de la Tierra: el espectador de Lóndres no ve la luna en la misma situacion sideral que el de Roma o Constantinopla; i es necesario reducir las observaciones a lo que serian si se hiciesen desde un mismo punto; desde el centro de la Tierra.

Un reloj parecido a este se miraria como extremadamente incómodo, por exacto que fuera; pero si no tuviésemos otro, i si nos importase sobremanera poder medir con toda precision el tiempo, lo estimaríamos en mucho, i trabajaríamos por conseguir un conocimiento perfecto de su mecanismo, i por facilitar los medios de leer en sus movimientos el trascurso de las horas. A esto se reduce la teoría lunar. Por medio de ella puede anunciarse, de mucho tiempo atrás i con una exactitud maravillosa, cuál será la posicion de la luna entre las estrellas, a cada hora, minuto i segundo de cada dia del año, en tiempo local del meridiano de Greenwich, Paris, u otro cualquiera que se elija. Las distancias angulares de la luna respecto de las principales estrellas que le salen al paso, se computan i registran cuidadosamente en almanaques publicados bajo la inspeccion de los gobiernos i de sociedades científicas. I cuando un observador en cualquier paraje del globo, en mar o en tierra, mide la distancia a que se halla la luna respecto de una de esas estrellas (cuyo lugar en el cielo se ha determinado con la mas escrupulosa individualidad), sabe la diferencia entre su tiempo local, i el de cualquier observatorio del mundo, i por consiguiente la diferencia entre su longitud i la de cualquiera de ellos.

Hemos visto que el volúmen de la luna es como  $\frac{1}{49}$  del de la Tierra. La teoría de la atracción demuestra que su masa es como 0,0146 de la del globo terrestre. Su densidad es por consiguiente menor.

La luna tiene la forma de un elipsoide, cuyo eje mayor está vuelto constantemente acia la Tierra, en el plano del ecuador lunar; ejecutándose la rotacion en torno al eje menor, como en la Tierra, i por la misma causa.

El telescopio nos muestra en la superficie de la luna desigualdades considerables; montes i valles. Vemos proyectarse la sombra de los primeros i variar la de los segundos exactamente como corresponde a la posicion del sol: los montes arrojan una negra i tendida sombra, cuando el sol nace o se pone a su espalda; pero a medida que este astro se levanta, la sombra se acorta, i en los plenilunios, cuando la luz solar los baña de lleno, no se ve sombra alguna. Los picos aparecen siempre iluminados ántes que los espacios contiguos; i el limbo o borde se ve como dentellado por las puntas salientes de la encumbrada serranía. Las mayores elevaciones son como de milla i media de altura perpendicular.

La luna es montuosa en extremo; sus serranías ocupan mucho mas de la mitad de la superficie; la forma de casi todos sus montes es exactamente circular como la de una copa; i los mas elevados presentan cavidades, de cuyo fondo se alza en el centro un pequeño i escarpado cono: su aspecto, en una palabra, es volcánico, como el del cráter del Vesubio, i en algunos de los principales se notan señales de estratificacion volcánica, producida por depósitos de materias arrojadas en sucesivas erupciones. Sin embargo de no haber mares en la luna, hai extensas llanuras de un carácter decididamente aluvial.

La luna no tiene nubes, ni presenta la menor señal de atmósfera. Su clima, por consiguiente, no puede ménos de ser una alternativa continua de quince dias de un verano mas ardiente que el de nuestras regiones ecuatoriales, i otros tantos de rigorosa helada, mucho mas cruda que la de nuestros inviernos polares. La consecuencia precisa de semejante órden de cosas es la absoluta aridez de las regiones que están bajo el sol vertical, la constante acumulacion de escarchas i yelos en las regiones opuestas, i acaso una faja perpetua de agua corriente por la orilla del hemisferio iluminado. Pero no es imposible que la evaporacion, por una parte, i la condensacion, por otra, mitiguen hasta cierto punto la inclemencia de los dos extremos de temperatura.

Por la pequeña densidad de los materiales de la luna, i la gravitación, comparativamente débil, de los cuerpos que ocupan el suelo, la fuerza muscular podría ser allí seis veces tan poderosa como en la superficie de nuestro planeta. Pero por la falta de aire no es posible que la habiten seres orgánicos análogos a los que conocemos; ni aparece en la luna el menor vestigio de vejetacion. Si hai habitantes allí, la Tierra debe presentarles el extraordinario aspecto de una luna de casi 2° de diámetro, ya llena, ya en creciente, ya en menguante, ya del todo oscura; eclipsada a veces, a veces proyectada sobre el disco del sol, eclipsándolo; casi inmóvil en un mismo paraje de la esfera celeste, pasando lentamente las estrellas a su lado i a su espalda; anublada de manchas variables, i fajada de zonas ecuatoriales i trópicas, que corresponden a nuestros vientos constantes; pero seria dudoso que las perpetuas mutaciones de nuestra atmósfera les dejasen discernir claramente los contornos de nuestros continentes, cordilleras i mares (hh).

## CAPÍTULO IX.

### DEL SISTEMA PLANETARIO.

1. *Planetas en general.* 2. *Planetas zodiacales.* 3. *Planetas inferiores.* 4. *Planetas superiores.* 5. *Planetas ultrazodiacales.* 6. *Lejes de Keplero.* 7. *Elementos de las órbitas planetarias.* 8. *Perturbaciones de las órbitas planetarias.* 9. *Constitucion física de los planetas: satélites.* 10. *Aberracion i velocidad de la luz.* 11. *Prueba física del movimiento orbital de la Tierra.* 12. *Cuadro de los planetas.*

(hh) Mirada con el gran telescopio de Lord Ross, se presenta la luna como un globo de plata derretida, percibiéndose distintamente sobre su superficie todos los objetos de una extension de 90 o 100 metros. Podria divisarse en ella con facilidad un edificio como el de la Catedral de Santiago. El aspecto general es como el de una vasta desolacion: volcanes apagados; peñascos enormes, al parecer lanzados por ellos; picos solitarios, como el de Tenerife; sierras de grande elevacion; simas profundas, cuya boca está cercada de una gran muralla de riscos, que se levantan a diferentes alturas. Hai entre otros, en medio de un laberinto caótico de sierras, picos i redondos montes, un precipicio circular, un vasto cráter, como de 50 millas de diámetro, a que se ha puesto el nombre de Tycho. El Dr. Nichol, para dar una idea de él, se figura un viajero que habiendo trepado a la cumbre del Monte-Blanco, viesse del otro lado un escarpado derrumbadero de 13,000 piés de profundidad, i a la distancia de 10 millas de su base, otro horroroso abismo tan hondo, como es elevado el Monte-Blanco sobre el nivel del mar. En el fondo hai varios montes, particularmente uno de 4,000 piés de altura, circunvalado de cinco o seis sierras circulares cocéntricas de casi igual elevacion. En torno al gran cráter, toda la superficie está, por decirlo así, claveteada de redondas colinas, que son otros tantos cráteres, todos de menor diámetro que el Tycho, pero quizá no ménos profundos. Lo mas notable es que en el centro mismo del Tycho, cuando penetran hasta allí los rayos del sol, se ve un fondo brillante, i fuera de la muralla que lo rodea otro espacio de igual

Hai ademas del sol i la luna otros astros que varían de situacion aparente entre las estrellas, i de estos los llamados *planetas* (palabra griega que significa errantes) se pueden reducir a dos clases: los unos apellidados *zodiacales*, (Mercurio, Vénus, Marte, Júpiter, Saturno, Úrano), ejecutan sus movimientos dentro de aquella zona celeste a que se ha dado el nombre de zodiaco; los *ultrazodiacales* son Vesta, Juno, Céres i Pálas. Todos ellos son cuerpos opacos, como la luna; ruedan sobre sus ejes, de occidente a oriente, i circulan en el mismo sentido al rededor del sol, pero en diversos períodos i con velocidades diferentes.

Mercurio, Vénus, Marte, Júpiter i Saturno han sido conocidos desde tiempos remotos; si bien es verdad que en la Escritura i en Homero se hace solo mencion de Vénus. Úrano fué descubierto por Sir William Herschel en 13 de Marzo de 1781. De los planetas ultrazodiacales, Céres fué descubierta por Piazzi, en Palermo, el primer dia del siglo XIX; i a este descubrimiento se siguieron el de Juno por el profesor Harding en Gotinga, i el de Pálas i Vesta por Olbers, de Brémen.

Los planetas en su movimiento aparente avanzan algunas veces con rápida velocidad; otras lentamente; paran a veces; a veces retroceden. Pero si su curso se refiere al sol, como punto céntrico, toda esta irregularidad desaparece, i se resuelve en una lei simple i general, que es la misma a que está sujeta la Tierra, suponiendo (como es indudable) que ella circula tambien al rededor del sol. Las órbitas son elípticas; el plano de cada órbita pasa por el sol, colocado en uno de los focos de la elipse, i corta el plano de la eclíptica en una línea recta, llamada *línea de los nodos*. *Nodo ascendente* es aquella interseccion de la órbita del planeta i de la eclíptica, en que el planeta pasa del lado austral al boreal; *nodo descendente* es la interseccion opuesta. No hai suspension ni retrogradacion en la carrera de ningun planeta; i la velocidad de todos ellos varía no mas que lo necesario para que las áreas barridas por los radios vectores sean proporcionales a los tiempos.

esplendor, de que sale una multitud innumerable de líneas vivamente iluminadas, que se esparcen sobre un tercio a lo ménos de toda la superficie de la luna. Se cree que estas líneas son grietas que comunican con la gran caverna, i cuyo fondo refleja tambien vivamente la luz solar: es probable que fueron formadas al mismo tiempo, por una terrífica convulsion, que levantó como 4,500 millas cúbicas de roca, i despedazó en todas direcciones el suelo, i en alguna de ellas hasta la distancia de mas de 1,400 millas geográficas. (*Foreign Quarterly Review*, número 77; enero de 1847).

## 2.

De los planetas zodiacales Mercurio es el mas cercano al sol. En vuelto en los rayos de este gran luminar, rara vez podemos verle, i entónces aparece bajo la forma de una luciente estrella. Síguese Vénus en el órden de la distancia al sol, i sucesivamente Marte, Júpiter, Saturno i Úrano. Si la Tierra se mueve tambien al rededor del sol, como lo veremos probadõ con argumentos irrefragables, su órbita tiene el tercer lugar, entre las de Vénus i Marte. De aquí el nombre de planetas inferiores dado a Mercurio i Vénus, i el de planetas superiores a los otros. Todos ellos, puesto que no salen del zodiaco, circulan próximamente en el plano de la eclíptica; de que resulta que no vemos sus órbitas de frente, sino en una direccion inui sesga, en que solo sus desvíos de la eclíptica se nos presentan en su magnitud natural.

## 3.

Los planetas inferiores en su curso aparente se apartan poco del sol. Mercurio se aleja hasta  $29^\circ$ ; Vénus hasta  $47^\circ$ ; estos son los máximos de su *elongacion* o distancia angular al sol; la cual puede ser oriental u occidental. Cuando se hallan al este del sol, resplandecen en el occidente al anochecer, i se llaman *luceros de la tardê*. Cuando están al oeste de aquel astro, le preceden al amanecer en la parte oriental del cielo, i se llaman *luceros de la mañana*. Vénus, que es el que vemos a menudo, es al que damos ordinariamente el nombre de lucero. Acercándose al sol, dejan de sernos visibles porque la luz solar los ofusca; unas veces pasan por detrás del sol, otras delante; i en este último caso suelen proyectarse sobre el disco solar, bajo la forma de pequeñas manchas negras, redondas, bien definidas; fenómeno llamado *tránsito*, análogo al del eclipse del sol, ocasionado por la interposicion de la luna. La *conjuncion*, o mínima distancia angular al sol, se llama *inferior*, cuando el planeta pasa por entre este astro i la Tierra; i *superior*, cuando pasa por detrás de aquel astro.

Sea S (fig. 10) el sol: *abc* la órbita de Mercurio o Vénus, i ABC la órbita de la Tierra, circulando estos tres cuerpos en una misma direccion, que es la de la flecha. Supongamos que cuando el planeta inferior está en *a*, la Tierra se halla en A, en la direccion de la tangente *aA*; el planeta aparecerá entónces en su máxima elongacion, porque el ángulo *aAS* será mayor que en cualquiera otra situacion del planeta.

Si la Tierra se mantuviese fija en A, el lapso del período *sideral*

del planeta inferior, o su retorno al punto  $a$ , esto es, a la misma situacion respecto de las estrellas, reproduciría aquella máxima elongacion. Pero la Tierra no se mantiene fija. Cuando el planeta vuelve a encontrarse en  $a$ , la Tierra ha caminado en la misma direccion acia  $E$ ; i por tanto la siguiente máxima elongacion por el mismo lado del sol, sucederá, no en la posicion  $aA$ , sino en la posicion  $eE$ : el planeta, descrita su órbita sidérea, habrá tenido que recorrer ademas el arco  $ae$ . El período sidéreo, mas el tiempo que gasta el planeta en recorrer el arco  $ae$  para volver a su máxima elongacion por el mismo lado del sol, será su período *sinódico*.

Durante este lapso de tiempo, la conjuncion inferior habrá sucedido cuando la Tierra se hallaba en la situacion intermedia  $B$ , i el planeta en  $b$ , entre el sol i la Tierra: la máxima elongacion del lado opuesto, cuando la Tierra estaba en  $C$  i el planeta en  $c$ , donde la línea de union  $Cc$  es tanjente a  $c$ ; i en fin, la conjuncion superior, cuando la Tierra se hallaba en  $D$ , i el planeta en  $d$ , en la prolongacion de la línea  $DS$ .

Mercurio i Vénus exhiben fases como la luna. Basta ver la figura 11 para concebir que respecto de un observador colocado en la Tierra  $E$ , un planeta inferior, iluminado por el sol, parecerá lleno en la conjuncion superior  $A$ , análoga a la oposicion de la luna; jiboso, esto es, mas de medio lleno, entre  $A$  i los puntos  $B C$  de sus máximas elongaciones, como la luna despues del cuarto creciente i ántes del cuarto menguante; medio lleno en los puntos  $B C$ ; corniforme entre cualquiera de estos i la conjuncion inferior  $D$ ; invisible en  $D$ , excepto cuando se proyecta sobre el disco solar como una mancha negra. Todos estos fenómenos son exactamente conformes a las observaciones, i prueban incontestablemente que Mercurio i Vénus son cuerpos opacos; lo que tambien se percibe por la falta de centelleo, que es propia de los cuerpos que no resplandecen con luz propia, como las estrellas.

Las variaciones a que está sujeto el brillo de Vénus son considerables, i dependen de dos causas: la magnitud de su área iluminada visible, i la mayor o menor magnitud aparente de su disco. El diámetro de Vénus varía desde algo ménos de  $10''$  hasta mas de  $1'$ ; a que no llega el de ningun otro planeta.

#### 4.

Como las órbitas de los planetas superiores abrazan la de la Tierra, su curso no está circunscrito, como el de Mercurio i Vénus, a ciertos límites de elongacion, ántes bien aparecen a todas distancias angulares respecto del sol, i aun en la region opuesta del cielo, o segun suele decirse,

en oposicion; lo que no podria suceder, si no se interpusiese entónces la Tierra. Los que por la pequeñez de sus paralajes parecen mui distantes de nosotros, a saber, Júpiter, Saturno i Úrano, se nos presentan siempre redondos; los vemos por tanto en una direccion no mui distante de aquella en que el sol los ilumina; de que se sigue que ocupamos un lugar que respecto de ellos no dista mucho del centro de sus órbitas; o en otros términos, que la órbita de la Tierra es, comparativamente, de pequeño diámetro. Solo Marte aparece a veces un poco jiboso; pero su porcion iluminada visible no es nunca ménos de los siete octavos de su disco; i como en Júpiter, Saturno i Úrano no percibimos fases, es claro que sus órbitas incluyen, no solo la de la Tierra, sino la de Marte.

Los planetas superiores se hallan en *oposicion* cuando su lonjitud comparada con la del sol da una diferencia exacta de  $180^\circ$ . El intervalo entre dos oposiciones sucesivas es su período *sinódico*, i el tiempo que tarda el planeta en volver a la misma situacion entre las estrellas, es su período *sideral*. Ambos períodos varían en cada planeta dentro de ciertos límites, por causas que mas adelante indicaremos.

## 5.

Lo que acabamos de decir se aplica a los planetas ultrazodiacales. Todos ellos circulan entre Marte i Júpiter. A Marte, en el órden de su distancia al sol, se sigue Vesta; i consecutivamente Juno, Céres i Pálas. Se ha conjeturado que estos cuatro planetas, visibles solo al telescopio, son fragmentos de un globo mucho mas grande, despedazado por alguna tremenda explosion. De aquí su aspecto anguloso i el enlace de sus órbitas que los hace volver sucesivamente a un mismo punto: porque segun las leyes de la Mecánica, si un planeta estallase, cada uno de sus trozos describiria una nueva órbita, al cabo de la cual volvería siempre al punto de que la explosion lo hubiese arrojado.

## 6.

Todos estos astros, segun la primera de las tres leyes de Keplero, describen con sus radios vectores áreas proporcionales a los tiempos. La segunda lei es la elipticidad de las órbitas, ocupando uno de los focos el sol. La tercera, manifestando que los cuadrados de los tiempos periódicos son como los cubos de las distancias medias al sol, es la que hace de todos los planetas, por decirlo así, una sola familia, some-

tida a una misma influencia, que se extiende desde el centro hasta los últimos límites de este vasto sistema, de que la Tierra misma es un miembro.

Debe notarse, con todo, que la fórmula de esta tercera lei, no es enteramente exacta. Segun su verdadera expresion, el cuadrado del tiempo periódico es proporcional a una fraccion que tiene por numerador el cubo de la distancia media, i por denominador la masa del sol, mas la masa del respectivo planeta. Siendo la masa del sol incomparablemente mayor que la de cualquiera de los planetas, (la de Júpiter, por ejemplo, que es el mas grande, no llega a un milésimo de la masa solar), el denominador es como una cantidad invariable, i la fórmula se reduce aproximativamente a la lei de Keplero.

### 7.

Los elementos de la órbita de cada planeta son: 1.º la magnitud i la forma de su elipse; 2.º la situacion de la elipse en el espacio; i 3.º la situacion del planeta en la elipse en un momento dado.

La magnitud i forma de la órbita se determinan por su máxima longura i su máxima anchura, esto es, por sus dos ejes, mayor i menor, de cuya proporcion resulta la excentricidad de la órbita. Los astrónomos prefieren para esa determinacion el semieje mayor i la excentricidad, que es la raiz cuadrada de la diferencia de los cuadrados de los semiejes. Si, por ejemplo, el eje mayor es 10, i el menor 8, la excentricidad será 3; que expresada, segun el uso astronómico, en partes del semieje mayor, es 0. 6.

La situacion de la elipse en el espacio se determina con relacion a la eclíptica, i depende, a su vez, de tres datos: 1.º la inclinacion del plano de la órbita al plano de la eclíptica; 2.º la línea de interseccion de estos dos planos, que pasa necesariamente por el sol; 3.º la longitud del perihelio de la órbita. Los dos primeros datos fijan la situacion del plano de la órbita, i el tercero da a conocer de qué modo está colocada la elipse en ese plano.

En fin si se conose la duracion de todo el período, i el momento preciso del tránsito del planeta por el perihelio, o por otro cualquier punto determinado, se saca de estos dos datos, por la lei de las áreas, la localidad del planeta en un momento dado.

### 8.

Pero debe notarse que las órbitas de los planetas no son perfectamente elípticas, puesto que están sujetas a gran número de pequeñas

irregularidades, que la observacion i la teoría han reconocido i determinado con mucha exactitud. Varía la relacion de la excentricidad al semieje mayor, i por consiguiente la forma de la eclipse: en Saturno, el mas variable de los planetas a este respecto, mengua 0,0003124 cada siglo, al paso que crece en Júpiter 0,0001594. Varía la inclinacion de la órbita a la eclíptica menguando en Júpiter hasta cerca de 70" por siglo, i creciendo en Saturno hasta algo mas de 66". Varía tambien la longitud del perihelio. Su movimiento secular es directo en Saturno i mas rápido que en todos los otros planetas; retrógrado, i mas lento que en otro alguno, en Vénus. En fin, el movimiento secular del nodo ascendente en la eclíptica es en todos retrógrado, i el planeta que mas rápidamente lo ejecuta es Úrano.

Hai ademas en los planetas perturbaciones periódicas de varias especies, dependientes de la varia *configuracion*, esto es, de las situaciones en que se hallan reciprocamente i con respecto al sol.

## 9.

Hablarémos ahora de la constitucion fisica i de las otras particularidades que mas merecen notarse en los planetas.

Tres son los objetos que llaman aquí la atencion como concernientes a la vida animal: las distribucion de la luz i del calor; la intensidad de la pesantez o fuerza de gravedad en la superficie de cada planeta; i la naturaleza de los materiales de que se componen.

La radiacion solar es siete veces mas intensa en Mercurio, i 330 veces ménos intensa en Úrano, que en la Tierra. La proporcion entre los dos extremos es mas grande que la de 2,000 a 1. Figurémonos lo que sería la condicion de nuestro globo, si el calor i la luz se septuplicasen, o se redujesen a  $\frac{1}{300}$  de lo que son!

La intensidad del peso o su resistencia a la fuerza muscular i su eficacia en reprimir la actividad de los animales, no puede ménos de ser en la superficie de cada planeta proporcional a su masa, la cual ha podido calcularse por la influencia que ejercen unos astros sobre otros en virtud de su atraccion recíproca. En la superficie de Júpiter la intensidad de la gravedad es cerca de tres veces mayor que en la Tierra, en Marte  $\frac{1}{3}$ , en la luna  $\frac{1}{6}$ , i en los planetas ultrazodiacales probablemente no mayor que  $\frac{1}{20}$ . La densidad, que es en razon directa de la masa e inversa del volúmen, es en Saturno  $\frac{1}{8}$  de la densidad de la Tierra: de que se colije que aquel astro se compone de materiales no mas pesados que el corcho.

El tiempo que dura la rotacion sobre el eje, que es el dia sideral de cada planeta, disminuye, en jeneral, a medida que se aumenta la distancia al sol; pero se acerca mucho a la igualdad en Mercurio Vénus, la Tierra i Marte; i en Júpiter (9h 56m) es menor que en Saturno (10h 16m). I como el tiempo de la revolucion es progresivamente mas grande a mayor distancia del sol, desde Mercurio hasta Úrano, se sigue que el número de dias que forman el año de cada planeta es muchísimo mayor en Júpiter i en Saturno (i probablemente en Úrano, cuyo movimiento rotatorio no ha podido observarse) que en los planetas inferiores i en la Tierra.

De la inclinacion del eje sobre el plano de la órbita depende en cada planeta la desigualdad del dia i la noche i la diferencia de estaciones. Bajo este aspecto, Júpiter i Úrano ocupan por decirlo así, los extremos. El eje de la rotacion es casi perpendicular en Júpiter, que goza, por tanto, de una primavera perpetua, o sujeta a variaciones poco sensibles; miéntras en Úrano hai motivo de creer que el eje está inclinado al plano de la órbita en un ángulo de  $11^{\circ}$  apénas: sus círculos polares estarán, si es así, a  $11^{\circ}$  de latitud, i sus trópicos a  $79^{\circ}$ .

De Mercurio, por su pequeñez i su proximidad al sol, sabemos solamente que es redondo i que exhibe fases. Las de Vénus se perciben mui bien. No divisamos en ella ni montes ni sombras, sino un brillo casi uniforme. Las ligeras manchas, ralas, indistintas i en extremo variables, que ámbos presentan, inducen a pensar que no es la superficie de estos dos globos lo que vemos, sino solo sus atmósferas, cargadas de nubes, que sirven quizá para mitigar el ardor excesivo de los rayos solares. Se sabe ya con toda certeza que Mercurio i Vénus dan vuelta al rededor de su eje en poco mas o ménos el mismo tiempo que la Tierra (ii).

La luz que Marte refleja es de un color rojizo, que se atribuye a la atmósfera en que está envuelto, la cual es tan alta i densa, que amortigua la luz de las estrellas, i aun las hace desaparecer algunas veces, interponiéndose entre ellas i nosotros. Cuando uno de los polos de Marte acaba de salir del invierno, presenta un resplandor vivísimo, que se cree producido por la reflexion de la luz solar en las nieves i yelos acumulados sobre aquella zona.

De los cuatro planetas telescópicos no se conocen bien las verdaderas dimensiones, pero no hai duda que son extremadamente pequeños en comparacion de los otros. El diámetro de cualquiera de ellos llenaria

(ii) El telescopio ha revelado a Schroeter en Mercurio montes altísimos que arrojan una ancha sombra sobre su superficie; el mas encumbrado es como de 9,500 metros de altura.

ilmente toda la distancia que media entre Valdivia i Copiapó.

El disco de Júpiter presenta en cierta direccion particular rayas o fajas que varían de situacion, magnitud i forma, i aun parecen de cuando en cuando partirse i desparramarse sobre toda la superficie; pero esto último es raro. Los espacios oscuros se consideran como partes del cuerpo del planeta, i los luminosos como nubes trasportadas por los vientos en diversas direcciones i con diferentes velocidades. Su figura es manifestamente un elipsoide, comprimido, como la Tierra, acia los polos; compresion o achataamiento que exactamente corresponde a las dimensiones del planeta i a su velocidad rotatoria. Su diámetro aparente varia de 30" a 46". Lleva consigo una bella comitiva de cuatro lunas o satélites, que jiran en torno a él de occidente a oriente, en planos que casi coinciden con el del ecuador del planeta. Los tres interiores atraviesan la sombra de Júpiter i se eclipsan en cada una de sus revoluciones, lo que no sucede al cuarto, que por la mayor oblicuidad de su órbita deja en algunas de eclipsarse. Ocúltanse a veces detras del primario, i otras se proyectan sobre el disco, i entónces se muestran bajo la forma de puntos brillantes o de opacos lunares. Este último fenómeno ha hecho creer que llevan en sus cuerpos o en sus atmósferas manchas oscuras de considerable extension. Pequeños como parecen, son globos de bastante magnitud: el diámetro del mas cercano a Júpiter es de mas de 2,200 millas; el del segundo, 1,800; el del tercero, 3,000; i el del cuarto 2,500. Sus revoluciones siderales son, en el mismo órden, 1d 18h , 3d 13h , 7d 4h , 16d 16½h. Sus masas 173, 232, 885 i 427 diez-millonésimas del planeta primario.

El descubrimiento de los satélites de Júpiter por Galileo fué uno de los primeros frutos de la invencion del telescopio, i una de las épocas mas memorables en la historia de la astronomía. De ella data la primera solucion astronómica del gran problema de las longitudes terrestres, tan importante a la navegacion i a la jeografia: los diversos aspectos de estos satélites han servido de señales para calcularlas. Ademas, la observancia de las leyes de Keplero en esta primorosa miniatura, admirable compendio de las harmonias del gran sistema planetario, contribuyó bastante al triunfo de la teoría de Copérnico, i suministró a la atraccion newtoniana uno de sus mas poderosos argumentos.

El sistema peculiar de Saturno manifiesta un complicado i marabillioso mecanismo. Este planeta es cerca de 900 veces mayor que la Tierra, i sin embargo su diámetro aparente es como de 16". Tiene no ménos de 7 satélites. Lleva ademas dos anillos concéntricos entre sí i con el planeta, situados en un mismo plano, separados el uno del otro por

un angosto intervalo, i del planeta por una distancia mucho mayor. He aquí las dimensiones de este magnífico aparato, en millas jeográficas.

Diámetro exterior del anillo exterior. . . . .	155,000
Diámetro interior del mismo. . . . .	135,000
Diám. ext. del anillo int. . . . .	133,000
Diám. int. del mismo. . . . .	102,000
Diám. ecuatorial del planeta . . . . .	69,000
El grosor de los anillos no pasa de . . . . .	90

Que los anillos son cuerpos opacos no puede dudarse, pues segun la situacion del sol sucede que unas veces arrojan ellos sombra sobre el planeta, i otras el planeta sobre ellos. Parece que el eje de rotacion de Saturno es perpendicular al plano de los anillos.

A las rejiones de Saturno que se hallan superiores a los lados iluminados de los anillos, deben estos presentar un aspecto magnífico, apareciendo como vastos arcos de luz que abrazan el cielo de horizonte a horizonte. Por el contrario, las rejiones situadas debajo de la faz oscura de los anillos, experimentan un eclipse solar de 15 años de duracion, que debe hacerlas (segun nuestras ideas) tristes e inhospitalarias para los habitantes, alumbrándolos con su débil luz los satélites, como lámparas de la noche.

Si se exceptúan los dos satélites interiores de Saturno, los de Úrano son los mas difíciles de verse. Dos existen sin duda, i se cree que hai otros cuatro. Pero en aquellos dos se nota una singularidad: al revés de lo que sucede en todos los otros planetas primarios i secundarios, los planos de sus órbitas son casi perpendiculares a la eclíptica, i su movimiento es retrógrado, esto es, de oriente a occidente. Sus órbitas, ademas, son casi exactamente circulares, i el movimiento de sus nodos imperceptible,

La precedente exposicion del sistema planetario hubiera parecido completa dos años há: en el dia es preciso agregar a ella dos planetas nuevamente descubiertos, de que trataremos en otro capítulo.

## 10.

Hemos dicho en otra parte que los objetos se nos hacen visibles por los rayos de luz que nos vienen de ellos; i que la direccion en que estos rayos hieren el órgano, determina la situacion que atribuimos a los objetos en el espacio. Hemos visto así mismo de qué modo influye en este juicio la refraccion atmosférica; haciéndonos referir los objetos a un lugar distinto de aquel en que realmente se hallan. I en

En, hemos tomado en cuenta la paralaje con la mira de hacer comparaciones las observaciones de espectadores colocados en diferentes parajes de la Tierra, para quienes varia por el efecto de la perspectiva la posicion de los astros en la esfera celeste. Pero aun queda otra causa de inexactitud en las observaciones, que es la *aberracion de la luz*.

Debemos presuponer que la trasmision de la luz no es instantánea, como largo tiempo se creyó. Los satélites de Júpiter dieron a conocer que los rayos luminosos atraviesan progresivamente el espacio i proporcionaron el medio de apreciar la velocidad de su movimiento. Siendo concéntrica la órbita de la Tierra con la de Júpiter, la distancia de estos dos planetas varia a cada momento, i la variacion se extiende desde la diferencia hasta la suma de los radios de las órbitas; porque cuando el sol está en medio de Júpiter, i de la Tierra, la distancia de los dos planetas es el radio de la órbita de Júpiter, mas el radio de la órbita de la Tierra; i cuando por el contrario es nuestro globo el que está en medio, lo que distan los dos planetas entre sí no es mas que el radio de la órbita de Júpiter, ménos el radio de la órbita terrestre. Ahora bien: Roemer, astrónomo danés, echó de ver en 1675, comparando las observaciones de muchos años, que los eclipses de los satélites, que acaecian cuando el planeta primario estaba del mismo lado que la Tierra, se anticipan siempre al tiempo calculado, i los que acaecian cuando el primario estaba mas léjos de nosotros, parecian constantemente retardarse. Esto le condujo a conjeturar que la luz no se propaga instantáneamente; que para hacernos visibles los eclipses necesitaba de ménos tiempo en el primer caso que en el segundo; i que en virtud de las diferencias observadas, gastaba la luz 16m 26s en andar todo el eje mayor de nuestra órbita, i por consiguiente 8m 13s en venir del sol a la Tierra. Pero la velocidad que en esta suposicion era menester (70,000 leguas por segundo) espantaba a la imaginacion; se deseaba ver confirmada la idea de Roemer por algun otro fenómeno; i el de la aberracion de la luz, descubierta por Bradly, suministró la confirmacion apetecida.

Si la Tierra i un astro estuviesen en completo reposo, veríamos el astro en la direccion del rayo que nos trae su imagen. Pero si la Tierra se mueve, i a porporcion del tiempo que gasta en su revolucion anual, anda 16 o 17 millas jeográficas por segundo, variando de direccion a cada momento, la molécula luminosa que lanzada de un astro inmóvil va a chocar con la retina del espectador, será rechazada en el sentido del movimiento anual de la Tierra, es decir, en el sentido de una trajente a la órbita terrestre, i recibirá de este recha-

zo una velocidad que la haria correr como 16 a 17 millas por segundo. Experimentarémos pues una sensacion visual que corresponderá a la resultante de las dos velocidades i direcciones; a la manera que cuando vamos andando, nos parece que la luz nos da en la cara con una velocidad i direccion, que es la resultante de la velocidad i direccion que llevamos i de las que trae la lluvia. Por consiguiente, no verémos el astro en su verdadero lugar, sino en el que corresponda a la direccion de la resultante; la cual describirá anualmente en el cielo una pequeña elipse, cuyo centro será el lugar verdadero del astro. Esto es exactamente lo que sucede. La resultante calculada es exactamente la que han dado las observaciones de un grandísimo número de eclipses de los satélites de Júpiter; i segun ella el grande eje de la elipse de aberracion, producida por el movimiento orbital de la Tierra, es de 40". 492.

Parece que la rotacion de la Tierra debiera tener tambien su parte en el fenómeno de la aberracion. Pero el cálculo demuestra que sus efectos son tan pequeños, que se confunden hasta ahora con los errores inseparables de la observacion.

Si el astro está en movimiento, el mejor modo de considerar la aberracion es este. El rayo con que lo vemos, no es el rayo que el astro emite en el momento de la vision, sino el que emitió algun tiempo ántes, es a saber, el tiempo que ha necesitado la luz para atravesar el espacio que media entre el astro i nosotros.

Sobre estos datos se han construido tablas para corregir los efectos de la aberracion.

Síguese de lo dicho que en el lugar aparente de los objetos celestes hai siempre dos elementos que despejar, la refraccion i la aberracion; cuando se trata de los astros cuya distancia es calculable, hai uno mas, la paralaje.

## 11.

Notarémos de paso que el fenómeno de la aberracion de la luz es una prueba física del movimiento anual de la Tierra.

¿A qué otra causa podemos atribuir el aparente jiro de las estrellas en esas menudas elipses, cuyos elementos guardan una consonancia tan grande con la velocidad i las variadas direcciones de la Tierra en su órbita?

## 12.

## CUADRO SINÓPTICO DEL SISTEMA PLANETARIO.

## PLANETAS.

*Distancia media al sol, o semieje mayor de la órbita.* *La misma distancia en leguas de 25 al grado*

Mercurio ♀	0.387	13,400,000
Vénus ☿	0.723	24,950,000
La Tierra ☽	1.000	34,500,000
Marte ♂	1.524	52,600,000
Vesta ♃	2.368	81,700,000
Juno ♃	2.669	92,800,000
Céres ♀	2.767	95,500,000
Pálas ♃	2.773	95,700,000
Júpiter ♃	5.203	179,500,000
Saturno ♄	9.539	329,100,000
Urano ♃	19.182	662,000,000

*Período sideral medio en días solares medios de la Tierra.* *Excentricidad en partes del semieje mayor.*

Mercurio	87.969	0.206
Vénus	224.701	0.007
La Tierra	365.256	0.017
Marte	686.980	0.093
Vesta	1,325.743	0.089
Juno	1,592.661	0.258
Céres	1,681.393	0.078
Pálas	1,686.539	0.242
Júpiter	4,332.585	0.048
Saturno	10,759.220	0.056
Urano	30,686.821	0.047

*Inclinación de la órbita a la eclíptica.* *Período rotatorio comparado con el de la Tierra.*

Mercurio	7° 0' 9" .1	1.004
Vénus	3° 23' 28" .5	0.975
Tierra		1.000
Marte	1° 51' 6" .2	1.027
Vesta	7° 8' 9" .0	

Juno	13° 4' 9" .7
Céres	10° 37' 26" .2
Pálas	34° 34' 55" .0
Júpiter	1° 18' 51" .8
Saturno	2° 29' 35" .7
Urano	0° 46' 28" .4

*Diámetro ecuatorial, siendo el del sol,* *Volúmenes de los planetas siendo el del sol,*

Planetas	109,93	1,328,460
Mercurio	0.39	0.06
Vénus	0.97	0.90
Tierra	1.00	1.
Marte	0.52	0.14
Vesta		
Juno		
Céres		
Pálas		
Júpiter	11.36	1470.00
Saturno	9.61	887.50
Urano	4.26	77.20

*Masa, tomada la de la Tierra por unidad, siendo la del sol 355,000.* *Densidad, tomada por unidad la de la Tierra, siendo la del sol 0,267*

Planetas		
Mercurio	0.176	2.92
Vénus	0.875	0.97
Tierra	1.000	1.00
Marte	0.139	0.39
Vesta		
Juno		
Céres		
Pálas		
Júpiter	338.500	0.23
Saturno	110.500	0.12
Urano	19.800	0.26

SATELITES.

**LA LUNA.**

Distancia media a la Tierra en radios ecuatoriales terrestres	59.960,000
Revolucion sideral media en dias solares medios	27d.322
Revolucion sinódica media en d. s. m.	29d.530

Excentricidad de la órbita.....				0.055
Revolucion media de los nodos.....				6,793d.391
Revolucion media del apojeo.....				3,232d.575
Inclinacion media de la órbita.....				5°8'47".9
Diámetro, tomado por unidad el de la Tierra.....				0.27
Volúmen, tomado el de la Tierra por unidad.....				0.02
Masa, siendo la de la Tierra 1.....				0.0146
Densidad, siendo la de la Tierra 1.....				0.73
<i>Satélites de Júpiter.</i>				
<i>Distancia media</i>	<i>Revolucion</i>	<i>Inclinacion de</i>	<i>Masa, sien-</i>	
<i>en rad. ecuat.</i>	<i>sideral.</i>	<i>la órbita a la</i>	<i>do la de</i>	
<i>del primario</i>		<i>del primario</i>	<i>Júpiter</i>	
				10,000,000
1°.....	6.048.....	1d 18h 28m.....	3°5'30".....	173
2°.....	9.623.....	3 13 14.....	variable.....	232
3°.....	15,350.....	7 3 43.....	variable.....	885
4°.....	26.998.....	16 16 32.....	2°58'48".....	427

*Satélites de Saturno*

1°.....	3.351.....	0d22h38m.....	
2°.....	4.300.....	1 8 53.....	
3°.....	5.284.....	1 21 18.....	
4°.....	6.819.....	2 17 45.....	
5°.....	9.524.....	4 12 25.....	
6°.....	22.081.....	15 22 41.....	
7°.....	64.359.....	79 7 55.....	

*Satélites de Urano*

	<i>Distancia media</i>	<i>Revolucion</i>
	<i>en rad. ecuat.</i>	<i>sideral.</i>
	<i>del primario.</i>	

1°?.....	13.120.....	5d21h25m.....
2°?.....	17.022.....	8 16 56.....
3°?.....	19.845.....	10 23 4.....
4°?.....	22.752.....	13 11 9.....
5°?.....	45.507.....	38 1 48.....
6°?.....	91.008.....	107 16 40.....

Las excentricidades del 1° i 2° satélites de Júpiter son insensibles, las del 3° i 4° pequeñas, pero variables a consecuencia de sus mútuas perturbaciones.

Las órbitas de los seis satélites interiores de Saturno son casi circulares, i están próximamente en el plano de los anillos. La del 7° está considerablemente inclinada a las otras, i se acerca mas a la coincidencia con la eclíptica.

Las órbitas de los satélites de Urano están inclinadas unos 78° 58' a la



eclíptica, i su movimiento es retrógrado. Los períodos del 2º i 4º necesitan de una lijera correccion. Las órbitas parecen casi circulares.

Hai motivo de creer que los satélites todos jiran en torno a sus ejes, ajustando, como la luna, los períodos de sus rotaciones a los de sus respectivas revoluciones al rededor del primario.

## CAPITULO X.

### DE LA GRAVITACION UNIVERSAL.

1. *Gravitacion terrestre, i gravitacion de la luna a la Tierra.*
2. *Gravitacion de los satélites a sus primarios, i de los planetas al sol.*
3. *Corolarios de las leyes de Keplero: atraccion universal.*
4. *Perturbaciones de la elipticidad orbital explicadas por la atraccion.*
5. *Forma esferoide de los cuerpos celestes producida por la misma causa: precesion de los equinoccios; nutaciones lunar i solar del globo terrestre, explicadas tambien por la atraccion.*
6. *Mareas.*
7. *Recientes descubrimientos en el sistema planetario.*

#### *Argentina*

Hemos visto que el movimiento de los planetas está sujeto a leyes constantes, i de paso hemos indicado la existencia de una fuerza que obrando uniformemente en todos estos cuerpos produce una general armonía en el sistema. Tratemos ahora de conocer la naturaleza de esa fuerza o a lo ménos su modo de obrar.

Pues que la luna acompaña constantemente a la Tierra en su revolucion anual, algo hai que la retiene al rededor de nuestro globo i que no la permite abandonarlo. Ese lazo invisible es análogo sin duda a lo que en los cuerpos sublunares se apellida pesantez o gravedad.

Llamamos así la fuerza que hace que los cuerpos abandonados a sí mismos descendan en línea recta acia la Tierra. Si han recibido un impulso que los obligue a moverse en otra direccion, la gravedad los solicita todavía, haciéndoles describir una curva cuya concavidad mira acia la superficie terrestre; i cuanto mayor es la fuerza de proyeccion, mayor es el espacio que atraviesan ántes de volver a la Tierra. Si caen, es por el efecto combinado de la gravedad i de la resistencia del aire, que destruyen poco a poco el impulso; i a no ser por esa resistencia, un cuerpo lanzado con suficiente fuerza desde la cumbre de un monte, pudiera dar una vuelta completa al rededor del globo. En este caso, conservaria su velocidad de proyeccion, i volviendo al punto de donde habia partido, comenzaria de nuevo su revolucion, i la ejecutaria de la misma manera que

la anterior. No caería pues nunca, i seguiría jirando perpétuamente como un satélite de la Tierra. Siendo éste el caso de la luna, es natural pensar que su revolucion sea producida por la combinacion de la gravedad terrestre con un impulso primitivo; pensamiento tanto mas probable, que no vemos fallar la influencia de la gravedad en las cumbres de los montes, ni en las mas altas ascensiones aerostáticas; i no hai razon para que no se extienda hasta la órbita de la luna.

## 2.

Las mismas consideraciones pueden aplicarse a los otros satélites. Es verosímil que todos ellos pesen, graviten, acia sus planetas primarios, como la luna acia la Tierra. I presentando fenómenos análogos el movimiento de los planetas, es de creer que estos pesan del mismo modo acia el sol, jirando al rededor del gran lumínar como otros tantos satélites. Somos conducidos así a columbrar una causa general a que se deben todos los movimientos celestes.

## 3.

Hasta aquí la gravitacion universal no es mas que una conjetura plausible. Pero recordemos lo que varias veces ha sido preciso anticipar. Cuando el gran Newton formuló su teoría, las observaciones habian establecido de un modo incontestable las leyes de Keplero; a saber:

1.<sup>o</sup> *Las áreas rasadas por los radios vectores de los planetas en su giro circunsolar, son proporcionales a los tiempos; de que se sigue que los planetas son continuamente solicitados por una fuerza que, si obrase sola, los haria caer aceleradamente acia el centro del sol, como descende una piedra a la Tierra.*

2.<sup>o</sup> *Las órbitas planetarias son elipses, i el sol ocupa uno de los focos: de que se deduce por un cálculo rigoroso que la fuerza con que cada planeta gravita acia el sol, decrece en razon del cuadrado de su distancia a este astro.*

3.<sup>o</sup> *Los cuadrados de los tiempos de las revoluciones de los planetas son proporcionales a los cubos de los ejes de sus órbitas; i de aquí resulta demostrativamente que la fuerza que parece como atraerlos al sol, es una misma para todos, i no varia de uno a otro sino por causa de la distancia.*

Se ha dado el nombre de *atraccion* a esta fuerza; pero se ignora su naturaleza. Lo que esta palabra significa es que la gravitacion se efec

tua como si un cuerpo atrajese a otro en razon directa de su masa, i en razon inversa del cuadrado de su distancia,

Los cometas mismos se han encontrado comprendidos en el imperio de la atraccion solar. Los satélites, a su vez, son atraidos a sus primarios como los primarios al sol; i la luna lo confirma del modo mas claro, pues la fuerza que la retiene en su órbita es exactamente la que corresponde a la gravedad de los cuerpos sublunares, disminuida en razon inversa del cuadrado de la distancia.

Demuéstrase pues por los fenómenos celestes este gran principio de la naturaleza, promulgado por Newton: que todos los seres materiales se atraen mutuamente en razon directa de sus masas, e inversa del cuadrado de sus distancias.

No es solo el movimiento elíptico el que puede ajustarse a esta lei. La análisis manifiesta que la órbita puede ser tambien un círculo, una parábola, una hipérbole; en general, una seccion cónica. El género de la órbita se determina por la intensidad del impulso inicial que se combina con la potencia atractiva; i lo mas notable es que la direccion del impulso no influye sobre este resultado, sino sobre las dimensiones de la órbita. Es probable que hai cuerpos celestes que describen parábolas o hipérbolas; pero si los hai, solo podemos verlos una vez, i cuando se retiran de nosotros, es para no volver jamas.

#### 4.

Pero no basta considerar aisladamente cada cuerpo de los que componen nuestro sistema planetario. Como todos ellos se atraen unos a otros, i sus posiciones recíprocas son extremadamente variadas, no pueden ménos de perturbarse mutuamente; i de aquí resulta que su movimiento no es exacto sino solo aproximativamente elíptico; lo que ofrece otra prueba mas en favor de la gravitacion universal.

Así el movimiento elíptico de la luna en torno a la Tierra es perturbado por la accion del sol. Si este astro los atrajese igualmente, sucedería que al mismo tiempo que ámbas jirasen al rededor del sol, describiría la luna verdaderas elipses al rededor de la Tierra. Pero encontrándose aquella unas veces mas i otras ménos léjos del sol, experimenta desigualdades en su gravitacion, i por tanto en sus movimientos. En las conjunciones la luna está entre la Tierra i el sol; i por consiguiente el sol la atrae mas, i aumenta su distancia a la Tierra. En las oposiciones, al contrario, la Tierra es mas atraida por el sol, i se retira por consiguiente de la luna. Crece pues el radio vector de la luna en las sizijias, i men-

una en las cuadraturas. Por otra parte, estas causas obran con mas poder en el perihelio que en el afelio de la Tierra; nueva fuente de desigualdades que se combinan con las precedentes, i que terminan i se reproducen cada año, como las otras cada mes. El movimiento de los nodos de la órbita lunar i las variaciones de su inclinacion al plano de la eclíptica son tambien consecuencias necesarias de la accion del sol, que solicita acercarla a la eclíptica. Efectos análogos se producen en todas las órbitas planetarias. Los movimientos de sus nodos, de sus perihelios, i las oscilaciones de los planos de las órbitas, se deben a estas acciones recíprocas. La lei de la gravitacion universal las explica i las mide.

En la explicacion de los movimientos de la luna basta tomar en cuenta la mútua influencia del sol, de la luna i de la Tierra. La de los otros astros puede desatenderse, o porque su masa es demasiado pequeña, o porque su distancia es demasiado grande, para que produzcan efectos sensibles. En la teoría de la Tierra es necesario calcular las acciones combinadas del sol, de la Tierra, de la luna, de Vénus, de Marte, de Júpiter i de Saturno. Úrano por su distancia, i los otros planetas por sus pequeñas dimensiones, ejercen una influencia insensible. Los efectos de estas acciones mútuas son particularmente notables en los movimientos de Júpiter i de Saturno, que por la grandeza de sus masas se atraen el uno al otro poderosamente, produciendo en cada órbita grandes perturbaciones seculares, cuyas leyes ha desenvuelto la análisis.

Por los efectos de la atraccion de cada cuerpo ha sido posible calcular su masa o cantidad de materia: i determinados los volúmenes por las distancias i los diámetros aparentes, comparándolos con las masas venimos en conocimiento de las densidades.

## 5.

Débese tambien a la gravitacion la redondez de los cuerpos celestes. Ella es la que combinándose con la fuerza centrífuga del movimiento de rotacion hincha el ecuador i comprime los polos. Ella es la que en consecuencia de este achatamiento produce el balance de estos cuerpos sobre su centro de gravedad. Tomemos la Tierra por ejemplo. La teoría prueba que las partículas aglomeradas sobre el ecuador no la permiten guardar el equilibrio que seria propio de una esfera perfecta; de que resulta el movimiento cónico del eje terrestre, que produce la retrogradacion del ecuador en la eclíptica i la precesion de los equinoccios; fenómeno que no existiria, si fuese esférica la figura del globo terráqueo. Modifican este fenómeno las

atracciones del sol i de la luna, produciendo las nutaciones o cabeceos del eje terrestre, de que se ha hecho mencion en el capítulo 5. la mas considerable de ellas guarda un período de cerca de 19 años, que corresponde exactamente a la revolucion de los nodos lunares; la segunda, dependiente del sol, se reproduce dos veces en la duracion de cada año trópico.

Ni se limita la influencia de estos astros al movimiento de los equinoccios; ella es tambien la que produce en la oblicuidad de la eclíptica la lenta oscilacion de que hemos hablado en el mismo capítulo.

Por las atracciones del sol i de la luna se explica así mismo el fenómeno de las mareas. Las moléculas líquidas que cubren el elipsoide terrestre por el lado del sol, pierden una parte de su peso en virtud de la atraccion solar; lo que hace que se acumulen de ese lado en mayor cantidad para compensar esta pérdida. Las que se hallan del lado opuesto pesan tambien ménos por una causa diferente; el centro de la Tierra gravitando acia el sol con mas fuerza que la mar, se retira un poco de esta; el peso de la mar disminuye a proporcion, i se aglomeran de ese lado las moléculas líquidas para compensar esta pérdida. De aquí resultan dos perturbaciones sobre la superficie del océano, situadas ámbas en la línea recta que une los centros de la Tierra i del sol, mediando  $180^\circ$  entre sus puntos culminantes. I como la masa total de las aguas no crece ni merma, es necesario que se produzca por via de compensacion una baja o descenso en las partes intermedias de la mar. La accion de la luna produce fenómenos análogos, i con mucha mas enerjía que el sol por su proximidad a la Tierra, que compensa con exceso su comparativa pequeñez. I ambas causas reunidas contribuyen a las alternativas de *flujo i reflujo* o de *alta i baja marea* a que está sujeto el océano.

La altura total de las mareas depende pues de la accion combinada de nuestro dos luminares; es la mayor posible cuando las dos acciones conspiran, como sucede en las sizijias; i por el contrario, nunca menor que cuando ellas obran en sentido contrario, como se verifica en las cuadraturas.

Hai en realidad dos mareas, una solar i otra lunar, cuyos efectos conspiran a neutralizarse mas o ménos, segun la direccion en que obran los dos luminares. En las sizijias, estando ambos en un mismo meridiano, trabajan simultáneamente en una misma direccion, i su efecto combinado es el mayor posible.

Si la Tierra no tuviese un movimiento de rotacion, no habria en ella punto de la superficie terrestre mas que dos mareas lunares cada mes, i dos mareas solares cada año; pero como en virtud de la rotacion de la Tierra, la luna i el sol pasan cada dia dos veces por todos los meridianos, no puede ménos de repetirse con igual frecuencia el fenómeno de las mareas para todos los puntos de la Tierra.

De lo dicho pudiera inferirse que el fenómeno de la alta marea o *pleamar* debe coincidir con el tránsito del sol o de la luna por el meridiano; pero se oponen a ello diferentes circunstancias locales i en especial la configuracion de las playas, que embaraza i retarda mas o ménos las oscilaciones. Este retardo no se observa en alta mar; i como proviene de causas constantes en los puertos, es fácil observarlo, i tomarlo en cuenta.

De esta manera todos los movimientos celestes pueden representarse por una sola lei, la atraccion universal, pues que de ella se derivan todos, por ella se explican, i por ella se miden i se anuncian; pero lo que le da mas alto precio es su perfecta certidumbre. El sistema de la atraccion universal se halla hoy establecido sobre bases incommovibles, sobre fenómenos observados i calculados con la mas escrupulosa exactitud. Su duracion será la del universo.

## 6.

En 1845 fué descubierto por Hencke, astrónomo de Berlin, un nuevo planeta, a que se ha dado el nombre de Astrea. Pertenece al grupo de los ultrazodiacales que circulan entre las órbitas de Marte i Júpiter; es de pequeñas dimensiones, como ellos, i al parecer, de la misma familia; procedente, segun se presume, de algun gran globo, que ántes abrazaba en su jiro el de Marte, i despedazado por una violenta explosion, produjo los cinco fragmentos que ya conocemos, i algunos mas quizá.

Pero el descubrimiento de Astrea se puede llamar insignificante comparado con el del planeta de Leverrier, que es uno de los mas grandes de nuestro sistema. Lo que da una importancia singular a este segundo descubrimiento, es que no se debe a la casualidad, ni al aumento de los telescopios, sino al poder de una intelijencia profunda, auxiliada solamente del cálculo. La historia toda de la astronomía no presenta un suceso comparable con este. En jeneral, la observacion ha precedido a la ciencia, i de los hechos previamente averiguados han nacido las ex-

plicaciones teóricas; pero en este caso la ciencia ha seguido las huellas de la teoría.

Creíase que era Úrano, si no el postrero de los planetas, a lo ménos el último de que podía tener noticia el hombre. “El frio i triste Herschel”, habia dicho en 1845 un astrónomo célebre, “corre para nosotros el velo de la oscuridad sobre el gran teatro abierto a las investigaciones de la mente humana, separándolo del desconocido, inmenso universo, poblado de estrellas. Esta barrera ha sido derribada, como tantas otras.”

Los movimientos de Úrano eran todavía un problema insoluble para los astrónomos. Las irregularidades de su elipse no podían atribuirse a la acción de ninguna fuerza conocida. Júpiter i Saturno, únicos planetas que pudieran influir en él de un modo sensible, no bastaban para explicar el efecto. Notábase constantemente una diferencia entre el verdadero lugar de aquel astro i el que le asignaban las tablas, calculadas sobre los datos de que hasta entónces se hallaba en posesion la ciencia. Este solo cuerpo parecía no ajustar enteramente su carrera a las fórmulas de la gravitacion newtoniana, i no faltaba ya quien pensase que era necesario correjirlas introduciendo en ellas algun nuevo elemento. Mr. Leverrier emprendió descifrar el enigma. Recorrió con infatigable perseverancia todo el cúmulo de observaciones i cálculos relativos al rebelde planeta: determinó exactamente la parte que debía señalarse a Júpiter i a Saturno en la produccion del fenómeno; provisto de estos datos comparó la senda calculada con la senda real; i llegó por fin a convenirse, por el mas riguroso racionio jeométrico, de que no era, como algunos imaginaban, un vasto satélite, ni la resistencia del éter, ni el encuentro de un cometa, lo que ocasionaba la discrepancia; que solo era admisible la suposicion de un nuevo planeta, i que este debía ser un gran globo para producir tan extrañas perturbaciones, i debía jirar precisamente fuera i a gran distancia de la órbita de Úrano para no afectar a Saturno.

La memoria en que se desenvolvian estas i otras consideraciones, fué leida a la Academia de las Ciencias de Paris el 1.º de junio de 1846; i el 31 de agosto siguiente presentó Leverrier otra memoria en que asignaba al todavía no visto planeta una masa casi igual a la de Saturno, i una revolucion periódica de mas de dos siglos, a una distancia del sol 33 veces mayor que la de la Tierra, o como de 1138 millones de leguas; señalando al mismo tiempo el lugar del cielo en que se le encontraría. En ménos de un mes se cumplió la prediccion. El 23 de setiembre lo vió, por la primera vez, el Dr. Galle en el observatorio de Ber-

no ménos de un grado de distancia del paraje indicado. De entónces acá se le ha observado muchas veces desde diferentes lugares de Europa i América. Dista del sol unos 1150 millones de leguas, i se calcula su diámetro en mas de 17,000 leguas, o sea 5.9 diámetros terrestres; de manera que despues de Júpiter i Saturno el planeta de Leverrier es el mayor de los que componen nuestro sistema. Se anuncia habersele descubierto un satélite i ademas un anillo como el de Saturno; pero esto necesita de confirmacion. Hasta el mes de enero del presente año (1847) no estaba (si se me permite la espresion) bautizado todavía el recién descubierto luminar, proponiendo unos que se le llamase Jano, otros Neptuno, Galia, Océano.

Así las misteriosas perturbaciones de Úrano han añadido una nueva i brillante comprobacion a las leyes de los movimientos celestes promulgadas en 1682 por el gran Newton. ¿Pero habrémos llegado ya a los confines de nuestro mundo peculiar i al último de los globos que tiene encadenados nuestro sol? Seria temeridad afirmarlo. “El feliz resultado de mis trabajos”, dice Leverrier, “hace esperar que al cabo de 30 o 40 años de observaciones, sirva tal vez ese nuevo planeta para descubrir el que se le siga en la vasta procesion. Forzosamente ha de llegarse a un término en que la inmensa lejanía de los astros los haga invisibles; pero podremos todavía columbrarlos con los ojos del cálculo, i trazar sus órbitas.”

## CAPÍTULO XI.

### DE LOS COMETAS.

1. Número de los cometas. 2. Aspecto i constitucion fisica de estos astros. 3. Su movimiento. 4. Cometas de Halley, de Encke i de Biela. 5. Perturbaciones. 6. Cometas de 1843 i 1845. 7. Magnitud de algunos cometas.

#### 1.

El extraordinario aspecto de los cometas, sus rápidos i al parecer irregulares movimientos, su inesperada aparicion, i la prodijiosa magnitud en que a veces se nos presentan, los han hecho en todos tiempos un objeto de asombro, mezclado de supersticiosos temores para el vulgo, i lleno de enigmas aun para aquellos espíritus que se han familiarizado mas con las marabillas de la creacion i las operaciones de las causas

naturales. Aun ahora que sus movimientos han dejado de mirarse como irregulares, o como rejidos por leyes diversas de las que retienen a los planetas en sus órbitas, su íntima naturaleza, i las funciones que ejercen en la economía del mundo particular en que vivimos, son tan desconocidas como en las edades anteriores.

El número de los que la historia recuerda, i de los que han sido observados astronómicamente, se cuenta por centenares; i si reflexionamos que en los primeros siglos de la astronomía, i aun en tiempos recientes, ántes de la invencion del telescopio, solo los grandes i brillantes fijaban la atencion de los hombres; i que de entónces acá apénas ha pasado año en que no se hayan visto uno o dos de estos astros, i que a veces han aparecido hasta tres a un tiempo, se admitirá sin dificultad que llegan a muchos millares los que vagan por los espacios celestes. Gran número de ellos se substraen sin duda a nuestras observaciones, porque solo atraviesan aquella parte del cielo que está sobre el horizonte durante el día; pues en este caso es necesaria la rara coincidencia de un eclipse total de sol, para que puedan verse; como acaeció, segun el testimonio de Séneca, el año 60 ántes de Cristo, en que apareció un gran cometa a muy poca distancia del sol eclipsado. Algunos, con todo, han sido bastante luminosos para dejarse ver aun al medio día en todo el esplendor de la luz solar, como lo hicieron los cometas de 1402 i 1532, i el que apareció poco ántes de la muerte de Julio César.

## 2.

Compónense los cometas, ordinariamente, de una masa nebulosa de luz, ancha i espléndida, pero mal definida, la cual se llama *cabeza*, i suele ser mucho mas brillante aña el centro, que ofrece la apariencia de un núcleo luminoso, parecido a una estrella o planeta. De la cabeza, en una direccion opuesta al sol, salen como dos chorros diverjentes de una materia luminosa; estos se ensanchan i difunden a cierta distancia de la cabeza; a veces se cierran i juntan a poco trecho; otras continúan separados por un largo espacio; presentando un aspecto como el del rastro que algunos meteoros brillantes dejan en el cielo, o como el fuego diverjente de un cohete, aunque sin chispas i sin movimiento aparente. Esta es la cola o cauda; magnífico apéndice, que tiene a veces una magnitud inmensa. De un cometa aparecido el año de 371 ántes de Cristo, refiere Aristóteles que ocupaba la tercera parte del hemisferio, o 60 grados: el de 1618 arrastraba una cola de no ménos de 104 grados; i el de

30, el mas célebre de los tiempos modernos, cubria con su cola un espacio de mas de 70 grados de la bóveda celeste, i segun algunas relaciones, de mas de 90.

La cauda falta a veces. Muchos de los mas brillantes las han tenido cortas i débiles, i no pocos se han visto sin ellas. Los de 1585 i 1763 no tenian vestijio de cola: segun Cassini el de 1682 era tan redondo i tan luminoso como Júpiter. Por el contrario, no faltan ejemplos de cometas ataviados de muchas colas o emanaciones luminosas diverjentes. El de 1744 tenia seis, abiertas como un inmenso abanico, i extendidas hasta una distancia de 30 grados. Las colas de los cometas son a veces curvas, doblándose en jeneral acia la rejion que acaban de atravesar, como si se moviesen mas lentamente, o encontrasen embarazo en su carrera.

Los pequeños cometas, que apenas pueden verse con el auxlio del telescopio, son sin comparacion los mas numerosos, i frecuentemente carecen de cola, presentándosenos bajo la forma de masas vaporeas, redondas o algo ovaladas, mas densas acia el centro, donde no se percibe núcleo, ni cosa alguna que tenga la apariencia de un cuerpo sólido.

Las estrellas de menor magnitud permanecen claramente visibles, aunque cubiertas por lo que parece la porcion mas densa de la substancia de los cometas; siendo así que esas mismas estrellas se nos ocultarian completamente en una moderada neblina que se levantase pocas varas sobre la superficie de la Tierra. I supuesto que aun los cometas mayores en que se percibe un núcleo, no exhiben fases, sin embargo de ser cuerpos opacos que solo brillan porque la luz del sol se refleja en ellos, síguese que aun estos deben considerarse como grandes masas de delgado vapor, íntimamente penetrables por los rayos del sol, i capaces de reflejarlos desde su interior substancia i desde su superficie. Los mas leves nublados que flotan en las altas rejiones de nuestra atmósfera, i que al ponerse el sol se nos muestran como empapados de luz, o como si estuviesen en completa ignicion, sin sombra ni oscuridad alguna, son substancias densas i macizas, comparados con la tenuísima gasa de la casi espiritual estructura de los cometas. Así es que aplicándoles poderosos telescopios se desvanece luego la ilusion que atribuye solidez a su núcleo; aunque es verdad que en algunos se ha dejado ver una como pequeñísima estrella, que indicaba un cuerpo sólido.

Siendo tan pequeña la masa central de los cometas, la fuerza de gravitacion que ella ejerce sobre su superficie no basta a sujetar el poder elástico de las partes gaseosas; i a eso sin duda es debido el extraordina-

rio desarrollo de la atmósfera de estos astros. Que la parte luminosa de un cometa es parecida al humo, la niebla, o las nubes suspendidas en una atmósfera transparente, se manifiesta por un hecho frecuentemente observado, es a saber, que la porcion de que está rodeada la cabeza, se ve separada de la cola por un intervalo ménos luminoso, como si estuviese sostenida por una faja diáfana, al modo que vemos una capa de nubes sobre otra, mediando entre ámbas un trecho despejado. Pero es probable que haya en ellos muchas variedades de estructura i constitucion física.

### 3.

Los movimientos de los cometas son al parecer sumamente irregulares i caprichosos. A veces permanecen visibles por unos pocos dias, a veces por meses enteros. Unos andan con extremada lentitud, otros con una celeridad extraordinaria; i un mismo cometa aparece acelerado o lento en diferentes partes de su carrera. El cometa de 1472 describió en un solo dia un arco celeste de 120 grados. Unos llevan un rumbo constante, otros retrogradan, otros hacen un camino tortuoso; ni se limitan, como los planetas, a un distrito determinado, ántes atraviesan indiferentemente todas las rejiones del cielo. Las variaciones de su magnitud aparente son tambien notabilísimas; su primer aparecimiento es a veces bajo la forma de inciertos vultos, que andan mui poco i arrastran mui pequeña o ninguna cola, i que por grados aceleran su curso, se ensanchan, i despiden una cauda cuyo grandor i brillo aumentan, hasta que (como sucede siempre en tales casos) se acercan al sol, i los perdemos de vista entre sus rayos; pero despues emergen por el otro lado, apartándose del sol con una velocidad al principio rápida, i sucesivamente menor i menor; i entónces es, i no ántes, cuando brillan en todo su esplendor, i cuando se desenvuelve con mas magnificencia su cabellera o cola; indicando así claramente que la accion de los rayos solares es lo que produce esta singular emanacion. Continuando su receso, su movimiento se retarda, i la cola se desvanece o es absorbida por la masa central, que tambien se debilita hasta perderse de nuestra vista, acaso para no volver a ella jamas.

A no ser por la clave que la teoría de la gravitacion suministra a a ciencia, permaneceria sin solucion el enigma de tan caprichosos i al parecer anómalos movimientos. Habiendo demostrado Newton, que un cuerpo que jira al rededor del sol bajo el imperio de aquella lei, puede describir en su órbita cualquiera de las curvas que se conocen con el

ombre de secciones cónicas, le ocurrió inmediatamente que esta proposición general era aplicable a las órbitas cometarias; i el gran cometa de 1680, uno de los mas notables de que hai memoria por la inmensa longitud de su cauda, i por lo mucho que se acercó al sol (hasta la distancia de una sexta parte del diámetro de aquel luminar), le proporcionó una excelente ocasion para probar su teoría. El suceso fué completo. Newton halló que el cometa describía en torno al sol una elipse, de que este astro ocupaba un foco; pero una elipse tan excéntrica que no podia distinguirse de una parábola; i en esta órbita las áreas descritas al rededor del sol eran, como en las órbitas planetarias, proporcionales a los tiempos. Desde entónces fué una verdad recibida (i las observaciones posteriores la han confirmado) que el movimiento de los cometas obedece a las mismas leyes que el de los planetas primarios i secundarios; consistiendo todas las diferencias en la extravagante prolongacion de las curvas, en la diversidad de direcciones (miéntras que los planetas se mueven generalmente de occidente a oriente); i en la suma variedad de las inclinaciones de los planos de estas curvas al plano de la eclíptica.

La parábola es el límite entre la elipse, por una parte, que vuelve sobre sí misma, i la hipérbola, por otra, cuyas ramas diverjen al infinito. El cometa, que describe una elipse, por largo que sea el eje de esta, no puede ménos de haber visitado ántes al sol, i de volver a visitarle en períodos determinados. Pero si su órbita es parabólica o hiperbólica, cuando ha pasado una vez el perihelio se aleja de nosotros para siempre, i se pierde en la inmensidad del espacio; a no ser que atraído por otro gran luminar de los innumerables que pueblan el universo, se incorpore en otro sistema. Pocos cometas de los que han podido observarse describen órbitas hiperbólicas; los mas se mueven en elipses, i pueden mirarse como miembros permanentes de nuestro sistema, a lo ménos en cuanto las atracciones de otros cuerpos celestes no les hagan variar de rumbo.

#### 4.

Entre estos merece particular mencion el planeta de Halley, llamado así en memoria del célebre Edmundo Halley, que calculando su órbita a su paso por el perihelio el año de 1682, en que apareció con grande esplendor arrastrando una cola de 30 grados de largo, fué inducido a juzgar que este cometa i los de 1531 i 1607, cuyos elementos habia averiguado tambien, eran en realidad uno solo. Como los intervalos de estas apariciones sucesivas eran de 75 i 76 años, Halley predijo su reaparecimiento para acia el año de 1759. Este anuncio llamó la atencion de to-

dos los astrónomos, i al acercarse el tiempo, se tomó el mayor interes en saber si las atracciones de los planetas mayores alterarian el movimiento orbital del cometa. Clairaut emprendió i efectuó el intrincado cómputo de sus influencias con arreglo a la teoría newtoniana de la gravitacion, i halló que la accion de Saturno retardaria su vuelta 100 dias, i la de Júpiter no ménos de 518, en todo 618 dias; de lo que infirió que su reaparecimiento sucederia mas tarde de lo que habria correspondido a su período regular sin estas perturbaciones, i que, en suma, su tránsito por el perihelio se verificaria a mediados de abril de 1759, un mes mas o ménos. Verificóse en efecto el 12 de marzo de aquel año. Su próxima vuelta al perihelio fué calculada por los señores Damoisean i Pontecoulant, por el primero para el 4, por el segundo para el 7 de noviembre de 1835; i sir W. Herschel anunció que se veria como un mes o seis semanas ántes de esa fecha, i que como entónces habria de acercarse bastante a la Tierra, exhibiria probablemente una bella apariencia, aunque juzgando por las sucesivas degradaciones de su tamaño aparente i de la longura de su cola en sus varias apariciones de 1305, 1456, &c., no era de esperar aquel imponente i tremendo aspecto, que habia llenado de superstitiosos terrores a nuestros abuelos en la media edad, i dado motivo a que se decretasen oraciones públicas para mitigar la maligna influencia del cometa. Viósele en Roma el 5 de agosto de 1835, dando una nueva prueba de la diafanidad del aire italiano; en Berlin el 13, i en Lóndres el 23 del mismo mes. En la primera mitad de octubre se aumentó mucho su brillo, i su movimiento aparente entre las estrellas del hemisferio boreal fué bastante rápido. Su cauda se extendió notablemente, i mirada por un telescopio de mucho alcance, era doble. El cometa parecia tener un núcleo sólido.

En tiempos mas recientes se han identificado otros dos cometas con otros anteriormente observados. El primero fué el cometa a que se dió el nombre de Encke, profesor de Berlin, i cuya órbita extraordinariamente excéntrica, está inclinada  $13^{\circ} 22'$  al plano de la eclíptica, i es recorrida por el cometa en 1207 dias, o tres años i medio. Observado en 1819, Encke anunció su retorno en 1822, i se cumplió su prediccion, como lo han sido las de sus reapariciones posteriores, aunque con alguna anticipacion; circunstancia que ha dado mucho que pensar a los astrónomos, atribuyéndola algunos a la resistencia de un medio.

El segundo fué el cometa de Biela, así llamado por el nombre de su descubridor. Describe al rededor del sol una elipse moderadamente excéntrica en seis años i tres cuartos. Apareció en 1832 i en 1838. Es un

cometa pequeño, insignificante, sin cola, i sin la menor apariencia de núcleo sólido. Su órbita corta próximamente la de la Tierra, i si esta se hubiese adelantado un mes en 1832, se hubiera encontrado con él; encuentro que quizá no hubiera carecido de peligro.

## 5.

Los cometas son perturbados en su carrera por los planetas, i Júpiter es el que les ha ocasionado mas embarazos. El de 1770, que, segun las observaciones de Lexell, describía una moderada elipse en el período de cinco años, poco mas o ménos, fué arrojado de su órbita por Júpiter, i obligado a moverse en otra de mucho mayores dimensiones, sin que un encuentro tan extraordinario causase la menor alteracion en el movimiento de los satélites, aunque metido entre ellos; de lo que se colije la estrechada pequeñez de su masa.

## 6.

El año de 1843 ha visto el aparecimiento de un cometa de extraordinaria magnificencia por el esplendor i extension de su doble cauda, cuya longura abrazaba como 40 grados. (jj) Pasó por su perihelio el 27 de febrero, acercándose al sol hasta la distancia de 32,000 leguas, i moviéndose entónces con tan extraordinaria velocidad que en el corto intervalo de 2 horas 11 minutos recorrió toda la parte boreal de su órbita, i estuvo dos veces en conjuncion con el sol. En la segunda de estas conjunciones se proyectó sobre el hemisferio solar visible a la Tierra, produciendo un eclipse parcial, que no pudo observarse en Europa, pues tuvo lugar a eso de la media noche del meridiano de Paris. Del 27 al 28 de febrero corrió el cometa 292 grados de su órbita arrebatado entónces por una velocidad quince veces mayor que la de la Tierra. Su direccion era de oriente a occidente.

Por el mes de enero de 1845 apareció en el hemisferio del sur otro hermoso cometa, el mayor sin duda que ha visto la jeneracion presente con la sola excepcion del de 1843. No hemos hallado que su aparecimiento haya hecho sensacion en Europa.

(jj) Lo que sigue en este párrafo se ha tomado de una memoria presentada por M. Arago a la Academia de las Ciencias de Paris en los dias 27 de marzo i 3 de abril de 1843.

Digamos algo sobre las dimensiones de estos astros. He aquí las de algunos de ellos.

La cola del gran cometa de 1680, inmediatamente despues de su tránsito por el perihelio, se halló tener veinte millones de leguas de largo, i haber ocupado solamente dos dias en su erupcion del núcleo; prueba decisiva de haber sido lanzada por una fuerza poderosa, cuyo origen (como se ve por la direccion de la cola) debe buscarse en el sol. Su mayor longura alcanzó a 41 millones de leguas, que es mucho mas de la distancia entre el sol i la Tierra. La cola del cometa de 1769 se extendia 16 millones de leguas; la del gran cometa de 1811, 36 millones. La porcion de la cabeza de este, comprendida dentro de la envoltura atmosférica diáfana que lo separaba de la cola, era de 180,000 leguas de diámetro. Apenas es concebible que tanta cantidad de materia arrojada a tan enormes distancias pueda recojerse i concentrarse otra vez por la débil atraccion de semejantes cuerpos, i esto explica la rápida disminucion de las colas de aquellos que han sido observados muchas veces.

La cola del cometa de 1843 se extendia en 18 de marzo de aquel año sobre un espacio de 60 millones de leguas, contadas desde el núcleo; i se calculaba que si hubiese tenido igual longura el 27 de febrero, cuando el cometa pasó por el perihelio, su extremidad habria alcanzado a mucha mas distancia que la de la órbita terrestre. La Tierra estaba el 23 de Marzo en la misma region que habia sido ocupada por el cometa el 27 de febrero, de manera que si él hubiese pasado por el perihelio 24 dias despues, nuestro globo habria tenido forzosamente que atravesar la cola en su mayor anchura. No ha podido identificarse este cometa con ninguno de los anteriormente observados (kk).

(kk) Arago en la memoria citada.

Humboldt observa que es apenas posible atribuir las variaciones en el brillo de los cometas a las de su situacion con respecto al sol. Pueden, dice, proceder tambien de su condensacion progresiva i de las modificaciones que deben sobrevenir en la potencia refrinjente de los elementos de que se componen.

Otro cometa de corto período ha sido descubierto por Faye en el observatorio de Paris, en 1843: su órbita está comprendida entre las de Marte i Saturno, i es entre todas las de los cometas conocidos la que se desvía ménos de la figura circular. Su período es de poco mas de siete años.

Esta clase de cometas contrasta con otro grupo, cuyos períodos parecen abrazar millares de años. Tal es el bello cometa de 1811, que, segun Argelander, gasta 3,000 años en su revolucion, i el espantoso cometa de 1680, cuyo tiempo periódico pasa de 88 siglos, segun Encke. Estos dos astros se alejan del sol hasta la distancia, aquel de 21, este de 44 radios de la órbita de Urano, es decir, hasta 6,200 i 13,000 millones de miriámetros.

## CAPÍTULO XII.

## DE LOS AEROLITOS.

1. Su composicion química.
2. No se forman en la atmósfera, ni proceden de volcanes lunares o terrestres.
3. Son pequeños planetas.
4. Apariencias que presentan.
5. Su periodicidad.

## 1.

Nos queda todavía que tratar de la clase mas numerosa de cuerpos que componen nuestro sistema planetario; es a saber, las estrellas volantes o piedras meteóricas, que el vulgo llama *exhalaciones*, i se designan mas jeneralmente con la denominacion, tambien impropia, de *aerolitos* (piedras del aire.)

Estos cuerpos caen frecuentemente en la Tierra; i la análisis química ha manifestado que se componen de hierro, azufre, níckel, cronio-cobalto, cobre, manganeso, sílice, magnesia, fósforo i carbon: el hierro i cobre en un estado metálico; lo que no sucede en ninguna de las agregaciones minerales que se encuentran a la superficie de la Tierra. Es digno de notar que estas piedras no son nunca una parte integrante de las capas que forman la corteza de nuestro globo.

## 2.

Algunos han creido que los aerolitos se formaban en la atmósfera como el granizo. En el dia se ha desechado esta idea; porque la atmósfera no contiene diseminados en su seno los elementos que hemos enume-

Los temores que ántes inspiraban los cometas han tomado una direccion mas vaga. Sabemos que en el seno mismo de nuestro sistema planetario existen cometas que visitan, a cortos intervalos, las rejiones en que la Tierra ejecuta sus movimientos; conocemos las perturbaciones que sus órbitas experimentan por la influencia de Júpiter i de Saturno, perturbaciones notabilísimas que pudieran alguna vez trasformar un astro indiferente en un astro temible: el cometa de Biela atraviesa la órbita de la Tierra; la resistencia del éter que llena los espacios celestes propende a estrechar todas las órbitas; i las diferencias indivisibles que se observan en estos astros dan motivo de sospechar que las hai en la cantidad de materia de que se componen sus núcleos. Tales son los fundamentos de nuestras aprensiones actuales; i por mas que se quiera tranquilizarnos con el cálculo de las probabilidades, que habla solo al entendimiento ilustrado por un estudio filosófico, semejante motivo de seguridad no puede producir aquella conviccion profunda que consiste en el asenso de todas las facultades del alma; es impotente sobre la imaginacion; i el reproche que se hace a las ciencias de excitar alarmas que ellas mismas no pueden despues sosegar, no carece de fundanto (*Cosm*).

rado; porque se sabe que los aerolitos atraviesan rejiones del espacio superiores a las mas elevadas de la atmósfera; i porque no descienden con la moderada velocidad i en la direccion casi perpendicular del granizo, sino en líneas sumamente oblicuas, i con una celeridad prodijiosa, comparable a veces a la de la misma Tierra en su órbita.

Se ha pensado tambien que podian proceder de las erupciones de algun volcan de la luna, que los arrojase a bastante distancia para que atraidos por la Tierra jirasen al rededor de ella, o se precipitasen sobre su superficie. Pero las últimas observaciones telescópicas no han descubierto volcanes actualmente activos en la luna; aunque parece indudable que han existido i algunos de ellos prodijiosamente grandes i poderosos. Ni podrian explicarse satisfactoriamente de ese modo la frecuencia i la periodicidad del fenómeno. Estas dos últimas consideraciones se aplican tambien a los volcanes de la Tierra; en que no se ve, por otra parte, bastante fuerza para lanzar masas enormes a tanta distancia.

### 3.

La opinion casi jeneral en el dia es la que considera las estrellas volantes como pequeñísimos astros (*asteroides*), que jiran al rededor del sol en gran número con una velocidad planetaria, describiendo secciones cónicas, i obedeciendo, del mismo modo que los planetas i cometas, a las leyes de la gravitacion.

### 4.

Cuando llegan a los límites de nuestra atmósfera, se encienden i suelen romperse en fragmentos, que cubiertos de una corteza negruzca i brillante se precipitan a la Tierra en un estado de calefaccion mas o ménos intensa. Llámense entónces *bólides* i *pedras meteóricas*. Preséntase a veces una nubecilla oscura en un dia sereno, i luego se oyen explosiones como la del cañon, i descienden masas de piedra de la naturaleza que hemos descrito. A veces bólides enormes, despidiendo humo entre detonaciones ruidosas, derraman en el cielo una luz tan viva que ha llegado a percibirse en medio del dia bajo el sol ardiente de los trópicos. Otras veces se ven descender de un cielo enteramente despejado, sin nube alguna precursora: así se observó en el grande aerolito que el 16 de setiembre de 1843 cayó con un estruendo semejante al del rayo en Kleinwenden, no léjos de Mulhouse. Vense tambien estrellas volantes pequeñísimas; puntos luminosos, que parecen trazar en el firmamento innume-

rables líneas fosfóricas. Son mas frecuentes i de mas vivos colores en la zona tórrida; efecto, sin duda, de la mayor diafanidad del flúido atmosférico.

Empiezan a brillar o a inflamarse en alturas en que ya reina un vacío casi absoluto. Pero su elevacion es variable, pues se extiende desde 3 hasta 26 miriámetros. Su velocidad llega a ser hasta 9 millas por segundo.

Las mayores piedras meteóricas de que hai noticia son la de Bahía en el Brasil i la Otumpa en el Chaco, que tiene de 2 a 2½ metros de largo.

## 5.

Las estrellas volantes son las mas veces *esporádicas*, esto es, raras i solitarias; pero hai ocasiones en que forman enjambres que atraviesan el cielo, o se las ve caer a millares. Estas últimas, que los escritores árabes han comparado con los nublados de langostas, son amenudo periódicas i siguen direcciones paralelas. Las mas célebres son las del 12 al 14 de noviembre, i las del 9 al 14 de agosto, que se conocen con el nombre de *lágrimas de San Lorenzo*, i se notaron la primera vez en Postdam el año de 1823, i el de 1832 en toda Europa, i aun en la isla de Francia. Pero la idea de periodicidad no ocurrió hasta el año siguiente de 1833, con motivo del prodijioso número de estrellas volantes que se vieron en los Estados-Unidos de América en la noche del 12 al 13 de noviembre. Caían como copos de nieve, i hubo paraje en que por espacio de nueve horas se contaron mas de 240,000. Recordóse entónces otra aparicion semejante, simultánea para muchos lugares del Nuevo-Mundo entre el ecuador i la Groenlandia, i se reconoció con asombro la identidad de las dos épocas. El mismo flujo de meteoros ocurrió en 1834 en la noche del 13 al 14 de noviembre, i desde entónces ha seguido observándose en Europa la periodicidad del fenómeno, segun el ilustre autor del *Cosmos*.

Las *lágrimas de San Lorenzo* han presentado igual carácter; i es probable que se descubran otras épocas análogas.

Estas tropas de asteroides forman sin duda diversas corrientes que cruzan la órbita terrestre, como el cometa de Biela. Sujetas a considerables perturbaciones, no es extraño que su aparicion se anticipe o retarde, i varíe de intensidad i de forma.

## CAPITULO XIII.

## DE LAS ESTRELLAS.

1. *Carácter jeneral, clasificacion, i distribucion de las estrellas en el espacio.* 2. *Via láctea; firmamentos diversos en las rejiones celestes.* 3. *Distancias de las estrellas.* 4. *Sus dimensiones.* 5. *Su destino.* 6. *Estrellas periódicas.* 7. *Estrellas dobles, triples, i múltiples.* 8. *Colores de las estrellas dobles.* 9. *Movimientos de las estrellas.* 10. *Nébulas.*

## 1.

Aunque diferentes entre sí bajo algunos respectos, las estrellas con- vienen todas en dos atributos jenerales; el de brillar con luz propia, i el de conservar una inmovilidad completa o al ménos un alto grado de permanencia en sus posiciones recíprocas.

Segun su brillo, se distinguen varias magnitudes en ellas hasta la sexta o la séptima, en que terminan todas las que están a el alcance de la vista desnuda; pero la clasificacion se ha llevado mucho mas allá con el telescopio, i las hai hasta de la décima séxta magnitud; sin que aparezca motivo para creer que cesa en estas la progresion, pues a cada nuevo grado de poder en los instrumentos, se descubren multitudes innumerables de astros ántes desconocidos. Esta clasificacion tiene el inconveniente de no poderse fijar con claridad los límites en que una clase termina i principia otra; i ademas es poco instructiva, pues no nos dice si el mayor brillo consiste en el resplandor intrínscico de la estrella, en las dimensiones de la superficie iluminada, o en su menor distancia de la Tierra. Segun experimentos fotométricos (11) de sir W. Herschel, ejecutados a la verdad sobre un corto número de estrellas, la luz en las de primera magnitud es como 100, en las de segunda como 25, en las de tercera como 12, en las de cuarta como 6, en las de quinta como 2, i en las de sexta como la unidad; pero su hijo sir John encontró que la de Sirio (la mas brillante de todas) era como 324 veces la de una estrella de sexta magnitud.

Que las estrellas fijas son otros tantos soles o centros de sistemas, es una cosa de que ya no se duda; no obstante que, aun con el aumento de

(11) Fotometría es la medicion de la intensidad o viveza de la luz.

fuerza a que ha llegado recientemente el telescopio, no se han podido descubrir los orbes planetarios que jiran al rededor de ellas, i reciben de sus rayos luz, calor i existencia vital.

## 2.

Aunque las mas notables estrellas están distribuidas con bastante imparcialidad sobre la esfera celeste, las de menor magnitud abundan mucho a las inmediaciones de la via láctea; principalmente las telescópicas, de que se presentan enjambres inmensos sobre todo aquel círculo, i sobre su rama accesoria; de modo que toda su luz se compone solo de estrellas, que serán como de la décima o undécima magnitud. Sir W. Herschel (que armado de sus poderosos instrumentos hizo una análisis completa de esta zona maravillosa), contando las de un solo campo de su telescopio, calculaba que en una faja de dos grados de ancho habian pasado a su vista cincuenta mil estrellas durante una hora de observacion. Tan condensadas se presentan en algunas partes. Parece, pues, que las estrellas no estan derramadas indiferentemente sobre todo el espacio.

Nuestro sol con la Tierra i los demas planetas que le rodean, está colocado acia el centro de una capa o firmamento de estrellas, que proyectado al rededor sobre la esfera celeste, nos presenta un vasto anillo que llamamos via láctea. En efecto, suponiendo un número incalculable de estrellas de diferentes magnitudes i a diversas distancias, entre dos planos paralelos de extension indeterminada, siendo nuestro sol una de ellas, es preciso que las mas distantes se nos proyecten como una zona anular en el cielo, al paso que las comparativamente cercanas nos aparecerán derramadas en todas direcciones sobre la bóveda celeste. La lejanía de las primeras las hará confundirse i perderse al cabo en una especie de luz nebulosa, oscura o clara a trechos, segun se acumulen mas o ménos en la perspectiva los luminares que la componen. Las otras, al contrario, se nos mostrarán deseminadas i solitarias.

Supongamos ahora que acia el lugar que nuestro sistema planetario ocupa, la capa o firmamento de estrellas de que hablamos, se divida en dos. ¿No será necesario que la proyeccion anular aparezca hendida en dos láminas por casi la mitad de su circunferencia?

Nuestro sol no es pues mas que uno de los millones de millones de soles de que se compone la via láctea; un grano en la arena dorada de esta magnífica zona.

Pero ¿qué dirémos al saber que esta via láctea tan grandiosa i magnífica no es mas que una de tres mil vias lácteas semejantes ya descubiertas i contadas, fuera de otras mas remotas que apénas pueden columbrarse, i que probablemente solo aguardan a que se aumente mas el alcance del telescopio, para resolverse de la misma manera en inmensos agregados de luminares separadamente perceptibles? Entre estos firmamentos ha descubierto Sir John Herschel uno que en su estructura se asemeja mucho a nuestra via láctea, porque se nos muestra bajo el mismo aspecto que esta presentaria a los habitantes de otra lejana rejion del cielo.

### 3.

Si se pregunta a qué distancia se hallan de nosotros las mas cercanas de las estrellas, la ciencia tiene mui poco que decirnos. El diámetro de la Tierra ha servido de medida para computar el de la órbita que ella describe al rededor del sol, i con el diámetro de la órbita se han prolongado despues de las mensuras hasta los últimos confines de nuestro sistema planetario, i aun mas allá, siguiendo las huellas de los cometas en sus dilatadas excursiones. Pero entre la mas remota de las órbitas planetarias i la mas cercana de las estrellas hai un golfo inmensurable, cuya anchura (excepto en uno u otro caso de que hablarémos luego) no se ha podido ni aun aproximadamente apreciar. Baste decir que mirada una estrella cualquiera desde los extremos opuestos de nuestra órbita, no se percibe la mas pequeña paralaje, ni de un segundo siquiera; de que se deduce por el cálculo que la distancia excede sin duda a 200,00 veces el radio de la órbita terrestre; lo cual equivale a 6,900,000,000,000 (seis billones i novecientos mil millones) de leguas. Cuánto mayor sea todavía la distancia, no se sabe. La imaginacion se pierde en estos números. Ayudémosla computando el tiempo que la luz emplea en atravesar ese espacio. La luz anda como 70,000 leguas por segundo. Debe pues recorrer ese espacio en cerca de 100 millones de segundos, esto es, en mas de tres años. ¿Cuál será pues la distancia de las innumerables estrellas de la mas pequeña magnitud que el telescopio descubre? Una estrella de 1.<sup>a</sup> magnitud necesitaria ponerse, (segun calcula sir John Herschel) a una distancia 362 veces mayor que la actual para que pudiese parecernos de la décima sexta magnitud. Por tanto, entre la inmensa multitud de las estrellas de esta última clase debe haber muchas cuya luz haya tardado a lo ménos mil años en llegar a nosotros; de modo

que cuando observamos sus posiciones i notamos sus varios aspectos, esmos leyendo una historia de mas de mil años de fecha.

Recientemente se han encontrado paralajes de estrellas fijas por tres eminentes astrónomos; Bessel de Königsberg, Struve de San-Petersburgo, i Henderson de Edinburgo. La estrella en que ha trabajado Bessel es la 61 del Cisne; su distancia se ha calculado en 670,000 veces el radio de la órbita terrestre; es decir, en 23 millones de millones de leguas.

La imaginacion desfallece al querer abarcar tan vastos espacios.

#### 4.

De las dimensiones reales de las estrellas no nos da informe alguno el telescopio; el disco en que nos las muestra es una ilusion óptica, que se debe a su brillo. Su luz es lo único que puede darnos algun indicio. La de Sirio, segun experimentos fotométricos de Wollaston, es a la del sol, como 1 a 20,000,000,000. Para que el sol nos pareciese pues no mas brillante que Sirio, debería retirarse a 141,400 veces su distancia actual, supuesto que la intensidad de la luz decrece en razon inversa del cuadrado de la distancia. Por otra parte, de lo que se ha dicho en el número anterior se sigue que la distancia de Sirio es de mas de 200,000 veces el radio de la órbita terrestre. Luego, segun el cómputo mas moderado, la luz que Sirio derrama es a la que derrama el sol como el cuadrado de 200 es al cuadrado de 141: excede, pues, sin duda dos veces a la que el sol emite; i consiguientemente Sirio es (juzgando por su esplendor intrínseco) igual, cuando ménos, a dos soles, i probablemente mayor.

#### 5.

¿Para qué existen tan magníficos cuerpos, tan estupendas masas de luz, en los abismos del espacio? No sin duda para alumbrar nuestra noche, pues una luna de la milésima parte del tamaño de la que tenemos, desempeñaría mejor ese oficio; ni para presentarnos un espectáculo distante de que solo alcanzamos a ver una pequeñísima parte, o para descarriar nuestra imaginacion en vanas conjeturas. Útiles son ciertamente al hombre, en cuanto le sirven de señales; pero tampoco sirven para eso las que no alcanzamos a divisar, que forman incomparablemente el mayor número. Poco fruto habrá sacado de la contemplacion i estudio del cielo, el que se figure que el hombre es el único objeto de que cuida el Criador, i el que no vea en el vasto i prodijioso aparato de que estamos

rodeados, medios de existencia i conservacion para otras mil razas de vivientes. Las estrellas, como ántes dijimos, son tantos soles, i cada una es acaso en su esfera el centro de un mundo peculiar de planetas, como el nuestro, o de otros cuerpos de que no podemos formar idea.

## 6.

Entre las estrellas hai varias, que no distinguiéndose de las otras en su apariencia, están sujetas a disminuciones i aumentos periódicos en su lustre, llegando en uno o dos casos a apagarse enteramente para encenderse de nuevo. Llámense estrellas *periódicas*. Una de las mas notables es la *Omicron* de la constelacion *Cetus*, observada primero por Fabricio en 1596. Su período es de 334 dias; dura en su mayor esplendor unos 15 dias, pareciendo a veces como de segunda magnitud; i decrece despues por tres meses, hasta que se hace del todo invisible, i en ese estado permanece cinco meses, al cabo de los cuales vuelve a verse, i empieza a crecer hasta completar el período. Pero no siempre adquiere igual brillo, ni pasa por las mismas mutaciones, i aun en algunos períodos ha dejado de verse.

Otra notable estrella es *Algol* o la *Beta* de Perseo. Aparece ordinariamente como de segunda magnitud, i así continúa por 2d 14h; empieza entónces a amortiguarse súbitamente, i en tres horas i media queda reducida a la cuarta magnitud; pero despues de ese tiempo se aviva otra vez, i en otras tres horas i media recobra su lustre; empleando en estas mutaciones como 2d 20h 48m. Pueden explicarse estas variaciones suponiendo que circula en torno a ella algun cuerpo opaco de extraordinario tamaño. La *Chi* del Cisne apénas pudo verse en los años de 1699, 1700 i 1701. Otro hecho curioso es el aparecimiento de nuevas estrellas, que resplandecen desde luego con una brillantez notable, i despues de permanecer inmóviles algun tiempo, se extinguen, i no dejan vestijio de su existencia. Una de ellas, que apareció el año 125 ántes de Cristo, llamó la atencion de Hiparco. Otra se dejó ver en el (\*) año de

(\*) Componiéndose estaba la segunda entrega de esta obra, cuando desgraciadamente advertimos la falta en la obra de las páginas 135 i 136, sin poderlos dar razon de esta falta, pues el exámen prévio de ella no llegó á dichas páginas. En tal conflicto solicitabamos otro ejemplar para continuar el trabajo, pero fueron vanas nuestras diligencias, asegurándonos que no habia otro en esta ciudad; por esta razon i para que no quedase trunca una obra, que con anhelo esperan los colegios i los numerosos suscritores, hemos llenado el vacío, tratando las materias que faltan en dichas dos páginas, con las doctrinas de los mas clásicos astrónomos que van citados. Confesamos que no se explican con aquel estilo puro, conciso i pulido, propio de la excelente pluma del Sr. Bello, pero sí con la exactitud de los principios de la ciencia.

1572 que apareció como de primera magnitud, cuya duracion fué de 16 meses, segun refiere Ticho Brabre en su astronomía de nueva estrella; i otra aparecida en el año de 1604 en el pié de la *Serpiente* de igual magnitud i duró 13 meses. Estas dos estrellas son dignas de particular mencion: resplandecian tanto, que sobrepujaban *Sirio* (que es la estrella mas brillante) i aún a *Júpiter* perigeo, o en su mayor vecindad a la Tierra; i lo mas raro es que la de 1572 apareció de repente en su mayor resplandor, el cual, ántes de desaparecer la estrella, empezó a disminuir gradualmente.

Seria obra larga hacer relacion de todas las estrellas nuevas que aparecen, i de las nuevas i antiguas que desaparecen, guardando periodos determinados: así en la constelacion *Bublena*, se ve una, que apareciendo de segunda magnitud por 15 dias, va disminuyendo en el espacio de 334 dias, hasta desaparecer totalmente. En el siglo pasado, esta estrella desapareció por cuatro años.

## 7.

En esa brillante región estrellada se observa aparecer i desaparecer astros, de las que unos tienen ciertamente luz propia i otros la mendigan: vemos cuerpos lucientes anieblados, o estrellas nebulosas que parecen cometas, i vemos que una estrella aparece ya sola, ya doble, ya multiplicada, como si se dividiese en partes; o tanto se juntaran, que su intérvalo a nuestra vista se desapareciera, por la inmensa distancia desde donde la observamos. De las mismas estrellas conocidas i que tenemos por una sola, algunas son una coleccion de otras muchas, que por la aparente cercanía se confunden, i son reputadas por una sola estrella. De las tres grandes de la espada de *Orion*, la del medio observó Huygens que era una coleccion de doce estrellitas *compañeras* (asi las ha calificado Flamsteed). Con infatigable laboriosidad Cristiano Mayer ha observado en las estrellas dobles i triples i principalmente en las nuevas, rodeadas de estrellas cercanísimas, que suelen tener luz pálida. Descubrió ocho estrellitas *compañeras* cerca de la nueva estrella de *Hércules*; cuatro de una estrella de *Escorpion*, i diez de una nueva de *Leon*. Sobre las estrellas dobles muchas de las *compañeras*, son verdaderamente nuevas, que tienen movimiento propio, que en algunas se conocen por la aselerada mudanza de su luz, grandeza i distancia.

Por tales descubrimientos i otros muchos de insignes Astrónomos, con las que ultimamente ha hecho Mr. Herschel de estrellas

planetarias nebulosas, dobles i variantes de resplandor, le ha hecho congeturar, que el sistema solar se va acercando hacia la constelacion de *Hércules*.

## 8.

Nada es mas conocido en las estrellas fijas que los diferentes colores que se observan en ellas: unas son mui brillantes como el *Can mayor* i la *Lira*; otras algo obscuras, otras nebulosas, como las cercanas al cinto de *Orion*: otras hai de color bermejo, como son el corazon del *Bscorpion*, *Aldebaran*, el *Arcturo*, *Capela*, *Rigel* i otras. La causa proveniente es la materia de que se componen, que no estan pura, i homogenea en unas estrellas, como en otras: aquellas que solamente contienen partículas sutiles, cuyo movimiento vibratorio aumenta su luz, son mas resplandecientes, i su resplandor es mas claro i hermoso; pero otras que tienen mezclada otra materia ménos apta para el movimiento sobre dicho, son mas obscuras, i causan entre las luminosas algunas sombras pequeñas, que si llegan a formar aquella proporcion i mezcla de materia, que requiere el calor bermejo, o azul &c. hacen ponerse de ese color la luz de estas estrellas. De lo que tenemos un claro ejemplo en la llama que se levanta de los metales en el crisol, que de la mezcla de estrañas partículas, aparece la llama ya azul, ya bermeja, cenísenta o de otro color.

Amas de las causas referidas del color de las estrellas hai otra que aumenta la viveza de su resplandor, i es la luz que les comunican las estrellitas compañeras, a las estrellas dobles, como observa Cristiano Mayer, que dice: que las estrellas dobles mas conspicuas, cuyo movimiento propio es mas sensible que en otras de la misma clase, tienen mayor número de estrellitas compañeras: la estrella doble *Arcturo* tiene 14 estrellitas; *Sirio* el mismo número, el *Aguila* nueve, la *Lira* ocho &c; i tanto será mayor el aumento de luz de las estrellas principales, cuanto es el número de las estrellitas cercanísimas que la rodean.

## 9.

Las estrellas en todos tiempos se habian visto como términos i límites, que con su situacion fija servian para conocer el movimiento de los planetas, sus órbitas i otros fenómenos semejantes. Ellas se habian llamado fijas, porque se creian siempre inmóviles en un

en el mismo punto del cielo; i el movimiento diurno que se advierte en ellas, se juzgaba provenir de una esfera, que los antiguos llamaban cielo estrellado, el cual cada día se suponía dar una vuelta, sin que por esto ninguna estrella mudase de sitio.

Los modernos conociendo que la Tierra cada día da una vuelta sobre su eje, de occidente a oriente, conciben muy bien la quietud de las estrellas; las cuales por la rotación diurna de la Tierra, aparecen dar una vuelta cada día al rededor del orbe terrestre; según esto, se entiende é infiere claramente, que este movimiento de las estrellas es aparente. Otros movimientos se observan en las estrellas i vamos a exponerlos.

Otra clase de movimiento es la que se llama *precesion*, o mudanza de longitud; para cuya inteligencia debe suponerse, que la longitud de las estrellas, se cuenta desde el punto en que sucede el equinoccio de primavera, o en que la eclíptica corta al ecuador en el principio del signo zodiacal llamado *Aries*. En esta suposición, i se advierte que las estrellas, en el discurso de algunos años, mudan de longitud, es necesario decir, o que ellas tienen movimiento rotatorio, o que le tiene el punto dicho en que la eclíptica corta al ecuador. Así, por ejemplo, cuando vemos que la estrella zodiacal llamada *Leon*, tiene de longitud 4 signos,  $26^{\circ}$  i  $53'$ ; i que 128 años ántes de Cristo, en tiempo de Hiparco, tenía de longitud 4 signos menos diez minutos, desde luego inferimos, o que la dicha estrella se ha apartado  $26^{\circ} 43'$  del punto desde donde se cuenta su longitud; o que este punto ha retrocedido, o se ha apartado el número dicho de grados i minutos de la estrella. Los antiguos con Hiparco, creían que las estrellas se iban poco a poco apartando del punto en que sucede el equinoccio de la primavera; i llamaban año grande, o platónico, el tiempo que ellas tardaban en volver otra vez al mismo sitio, cuyo movimiento es de 25.920 años.

Los modernos niengan este movimiento a las estrellas, i suponen que cada año va retrocediendo el dicho punto en que sucede el equinoccio de primavera; i este retroceso es lo que se llama *precesion anual del equinoccio*, la cual es de 2 minutos i 31 segundos cada tres años.

Otra especie de movimiento que se advierte en las estrellas, es el que se llama de latitud, por el cual se ve en ellas variar su distancia hasta la eclíptica desde cuya línea hacia sus polos, se cuenta la latitud de las estrellas: de este movimiento descubierto por Tico Brahe, se podrá decir lo mismo que del antecedente; que por cuan-

to la latitud de las estrellas se cuenta desde la eclíptica, si esta muda de situacion, disminuyendo el ángulo que ella hace con el ecuador, resultará en las estrellas un movimiento aparente en latitud; pero si la eclíptica no se mueve, el movimiento de la estrellas en latitud será verdadero; i en este caso la diferencia proviene de estrecharse o disminuirse el ángulo de la eclíptica con el ecuador. La disminucion de este ángulo, calcula La-Lande de 20 segundos por año, i que en el espacio de 263.370 años, habrá desaparecido totalmente el dicho ángulo, coincidiendo la eclíptica con el ecuador; i entónces faltarán en el año la variedad de estaciones, i la diferencia de duracion que tienen los días en diferentes climas terrestres.

El tercer movimiento de las estrellas, que se llama de *nutacion*, consiste en un desvio de  $9^{\circ}$  que se las ve hacer en el período de 18 años. Bradley por observaciones de 20 años, advirtió en las estrellas variedad de lonjitud, de ascencion recta i de declinacion; i que esta variedad no provenia de la precesion de los equinoccios. Continuó en sus observaciones, i notando que la dicha variedad desaparecía en 18 años, conjeturó que ella era efecto de la accion de la Luna, cuyos *odos* recorrian la eclíptica en dicho tiempo; i que el eje terrestre describia en 18 años un círculo, cuyo diametro era de 18 segundos; i que por razon del movimiento retrógado de dicho eje, resultaba en las estrellas la variedad de lonjitud, ascencion recta &a.

Otro de los movimientos aparentes de las estrellas, es el que se llama de *aberracion*. Hook, Flamsted i otros Astrónomos, observaron que en el espacio de un año, se notaba en las estrellas la diferencia de 40 segundos en su situacion, i conjeturaron que esto era efecto de la paralaje anual de las estrellas; pues por el movimiento de la Tierra, las estrellas vistas en diferentes tiempos i desde diferentes sitios de la órbita terrestre, deben aparecer en diferentes lugares, Bradley se decidió a observar este fenómeno, que creyó efecto resultante del movimiento de la Tierra i del tiempo que la luz de las estrellas tardaba en llegar a ella. Los Astrónomos universalmente han adoptado este modo de pensar.

Sin embargo de los movimientos aparentes que dejamos notados, hai otros realmente verdaderos obervados por Riecioti i por Hallei en diferentes estrellas de primera i segunda magnitud, como dejamos dicho en los parágrafos anteriores, de tener movimiento propio muchas de ellas.

## 10.

Echando una mirada a los cielos en una noche serena, observaremos de trecho en trecho ciertos grupos en que las estrellas están como mas condensadas que las de las regiones vecinas. En las Pléyades o Cabrillas se notan seis o siete, si se las mira de frente, i muchas mas si se vuelve la cara a otro lado, manteniendo la atencion fija en ellas. Con el telescopio se ven hasta 50 o 60. Otro grupo hay en la cabellera de Berenice, de mas lucidas estrellas pero algo mas esparcidas; i en la constelacion de Cáncer se vé una mancha luminosa llamada *la Colmena*, que, observada con un regular telescopio, se compone toda de estrellas. Lo mismo se nota en *el puño de la espada* de Perseo. Gran número de objetos celestes se han tenido a veces por cometas; manchas nebulosas redondas u ovaladas, aunque sin la cauda o cabellera que suelen tener esos astros, examinadas con telescopio de gran fuerza, aparecen compuestas de condensadas estrellas, circunscritas a límites bastante definidos, i con una apariencia de llama en el centro, donde la condensacion es ordinariamente mas grande. Las hay exactamente redondas; vastos espacios esféricos, poblados de luminares, que forman familias aparte. Seria vano empeño contar los astros asociados en uno de estos *racimos* esféricos; se calcula que muchos de ellos no contienen ménos de diez a veinte mil estrellas, reunidas en un espacio que pudierà todo cubrirse con la décima parte del disco de la luna.

Dáse el nombre de *nébulas* a estas nubecillas mas o ménos luminosas; precindiendo de que, como las que forman la via láctea i la Colmena, se compongan de enjambradas estrellas, miradas a una inmensa distancia, o se deban a modificaciones particulares de una materia luminosa en diversos grados de condiciones; de lo cual trataremos despues.

Presentan multitud de formas que fueron analizadas i clasificadas menudamente por el viejo Herschel.

Las que pertenecen a la primera clase, llamadas *racimos*, son o esféricas, como las que poco ha describimos, o irregulares. Estas últimas parecen ménos pobladas de estrellas, ménos definidas en su contorno, i ménos densas acia el centro. Herschel las miraba como *racimos* esféricos en un estado ménos avanzado de condensacion.

A la segunda clase de nébulas se dió el nombre de *resolubles*, porque si bien era de creer que se componian de estrellas distintas, no las dejaban columbrar a los telescopios de mas alcance.

Las *nébulas propiamente dichas* forman la tercera clase, en la cual no se creia percibir apariencia alguna de aglomeracion de estrellas. Su variedad es grandísima. Las mas notables son la que rodea la *Theta*, estrella cuádrupla o séxtupla de Orion, i la del *Røble* de Cárlos (*Robur Caroli*), constelacion austral. La primera se compone de pequeños copos adherentes a menudas estrellas, i en especial a una estrella considerable, a la que envuelve uno de estos copos en una atmósfera nebulosa de grande estension i de singular aspecto. Otra de estas nébulas propiamente dichas está vecina a la *Mu* de Andrómeda; es visible sin telescopio; i ha pasado frecuentemente por cometa. Forma un óbolo oblongo; i su lustre se aumenta por insensibles graduaciones de la márjen al centro, que es mucho mas brillante que el resto, aunque no tiene la apariencia de estrella. Es mui grande; tiene casi un grado de largo i 15 a 20 minutos de ancho.

Las *nébulas planetarias* forman la cuarta clase. Son de un aspecto mui extraordinario, parecido al de los planetas: discos redondos o lijeramente ovalados, con bien definido contorno, a veces algo oscuro i anublado, i con luz uniforme ó lijeramente salpicada de manchas, que en su brillo se acerca a veces al de la luz planetaria. Cualquiera que sea su naturaleza, sus dimensiones son inmensas; bastante para llenar, segun el mas moderado cómputo, dice Sir John Herschel, la órbita toda de Úrano; i si son cuerpos solares, su esplendor no puede ménos de exceder mucho al de nuestro gran lumínar.

En algunas de estas nébulas la condensacion es leve i gradual; en otras grande i súbita; tan súbita que presentan el aspecto de una estrella empañada con una lijera borra en contorno, lo que ha hecho que se las llame *nébulas estelaras*, (quinta clase); al paso que otras ofrecen el bello fenómeno de una estrella brillante, cercada de una atmósfera circular lánguidamente luminosa, i cuyo lustre se amortigua por insensibles graduaciones, o de golpe. Estas, denominadas *estrellas nebulosas*, forman la sexta clase; i a ellas pareció pertenecer nuestro sol, por la cabellera cónica o lenticular que le rodea en la direccion de su ecuador, i a que se ha dado el nombre de luz zodiacal. Hai asimismo *nébulas anulares*. La mas notable es la que se halla entre *Alpha* i *Beta* de la Lira, i puede verse con telescopio de moderada fuerza.

Las nébulas han dado motivo a muchas especulaciones i conjeturas. Que la mayor parte se componian de estrellas no podia dudarse. Véfase ya en ellas una interminable cadena de sistema sobre sistema

de firmamento sobre firmamento, de que apenas divisamos una vislumbre, i en que la imaginacion se confunde i se pierde. Pero por otra parte se creyó mui probable la existencia de una materia fosfórica o espontáneamente luminosa, diseminada en estensas rejiones del espacio, tomando formas caprichosas, como nubes ajitadas por el viento, o concentrándose en atmósferas cometarias al rededor de ciertas estrellas. Sobre la naturaleza i destino de esta materia nebulosa, se levantaron injeniosas hipótesis. Unos pensaban que era absorbida por las estrellas vecinas i les servia de pábulo: otros creian que por su propia gravedad se concentraban en masas que en el largo trascurso de los siglos enjendraban estrellas nuevas i nuevos sistemas planetarios. Segun Sir William Herschel, las estrellas pasan por diferentes grados de condensacion ántes de tomar una forma definitiva, i las nébulas irresolubles son masas estelíjenas, ora en un estado de embrion, ora en el de formacion mas ó ménos adelantada. Esta idea fué acogida con entusiasmo por los mas célebres astrónomos. Arago, entre otros, miraba ya como una de las maravillas de que nos haria testigos el progresivo aumento del poder de los telescopios, la jeneracion i nacimiento de las estrellas. "Estas nébulas de formas diversas de que está sembrado el cielo, son", decia "anchurosos espacios, llenos de materia fosforecente que poco a poco se condensa. Este campo todavía intacto será explorado por la ciencia: el astrónomo observará los progresos de la concentracion; señalará el momento en que vea redondearse el contorno exterior; el instante de la aparicion del núcleo luminoso central; aquel en que este núcleo, brillando con el esplendor mas vivo, solo se verá rodeado de una apariencia de vapor; aquel en fin, en que esta nube se acercará i consolidará, i el astro recién nacido será semejante a los otros. (III)

La supuesta irresolubilidad de ciertas nébulas era todo el fundamento de esta bella hipótesis. Pero los modernos telescopios disminuian cada vez mas el número de las que pasaban por irresolubles, i el mundo científico aguardaba con ansia el resultado de un nuevo exámen de la que rodea a la estrella *Theta* en la espada de Orion, que habia salido victoriosa de cuantos esfuerzos se habian hecho para analizarla o resolverla en estrellas, aun por el jigantesco telescopio de Lord Ross. La expectativa no duró largo tiempo. En marzo de 1846 se anunció al mundo que aquella nébula era como las otras, no una masa ténue de vapor fosfórico, sino un brillante firmamento de estrellas. La injeniosa teoría de Herschel se desvanecié como el humo.

(III) *Journal des Débats*, Noviembre de 1844.

## CAPÍTULO XIV.

## RESUMEN DE LAS PRINCIPALES PRUEBAS DEL MOVIMIENTO DE LA TIERRA.

El movimiento de rotacion de nuestro globo se prueba primeramente por la protuberancia de las rejiones ecuatoriales i la compresion de los polos ; i por la constancia de las corrientes atmosféricas del este en los dos hemisferios ; como lo hemos visto en el capítulo 3.º artículo 7.º

En segundo lugar ; pues que el sol i todos los planetas que han podido observarse, tienen un movimiento de rotacion al rededor de un eje que pasa por su centro, la analogía conduce a pensar que la Tierra se mueve del mismo modo : analogía que se confirma por la figura esferoide de todos esos cuerpos, semejantes en esto a la Tierra, i por la alternativa de luz i tinieblas que en ellos se produce, a consecuencia del jiro rotatorio, i que induce a creer el empleo de un medio semejante en nuestro globo para la produccion de iguales efectos.

En tercer lugar, se observa que los cuerpos que caen de una gran altura se desvían un poco de la vertical acia el este, como deben hacerlo si la Tierra da vuelta de occidente a oriente : véase en el número 1.º del mismo capítulo el racionio que hemos copiado de Arago.

4.º Si se supone ese movimiento de rotacion de nuestro globo, los fenómenos del movimiento diurno de la esfera, los de la precesion de los equinoccios i de la nutacion, aparecen estremadamente simples : suponiendo la Tierra inmóvil son de una complicacion estremada. La Tierra es un globo cuyo radio no llega a siete millones de metros ; el sol es incomparablemente mas grande. Si el centro de este astro coincidiese con el de la Tierra, su volúmen abrazaría toda la órbita de la luna i se extendería casi otro tanto mas. ¿ No es mucho mas sencillo dar a nuestro globo una rotacion, indicada ya por otros fenómenos, que figurarnos la masa inmensa del Sol describiendo en veinticuatro horas una circunferencia de mas de 200 millones de leguas ? Qué fuerza enorme no se necesitaria para contener la materia de que se compone i contrarrestar su fuerza centrífuga ? Pero eso es nada todavía. Seria preciso dar movimientos semejantes a todos los planetas, a todos los cometas, a todos los satélites ; movimientos exactamente proporcionados a sus distancias, como si se hubiesen concertado al intento. I lo que aún es mas, seria menester estenderlos a las innumerables lejiones de estrellas, de

que está sembrado el cielo : todos estos cuerpos, cuya distancia es tan grande que apenas la imaginacion la concibe, darian cada dia una vuelta completa al rededor de un átomo imperceptible con una regularidad inesplicable y con una velocidad a la cual ni aún la de la luz se aproximaria.

El movimiento anual de la Tierra se prueba por argumentos no menos poderosos.

Primeramente; pues que todos los planetas, cometas i satélites jiran al rededor del sol, ¿por qué principio singular la Tierra sola estaria esenta de esa lei? En nuestro sistema planetario los pequeños cuerpos jiran siempre en torno a los grandes.

Segun la tercera lei de Keplero, los cuadrados de los tiempos de las revoluciones de los planetas en torno al sol, son proporcionales a los cubos de sus distancias medias. ¿Por qué la Tierra sola entre tantos cuerpos, algunos de ellos mucho mayores, habria de quebrantar esa lei? Júpiter, que pesa 338 veces mas que el globo terráqueo, obedece con todo a ella.

Si la Tierra circula al rededor del sol, sus movimientos no tienen nada de particular; son del todo semejantes a los de los otros planetas; pero si la suponemos inmóvil, es menester que el sol en su carrera anual se lleve tras sí sobre la eclíptica todas las órbitas de los cuerpos planetarios. Todas las analogías se destruyen; i los movimientos de esos cuerpos se hacen estremadamente complexos.

La aberracion de la luz es una prueba física del movimiento de nuestro planeta; sobre lo cual hemos dicho ya lo bastante en el capítulo 9.º artículo 10.

En fin, prescindamos por un momento de la Tierra en el sistema de la gravitacion universal, tan incontrastablemente establecido por el gran Newton. Los planetas, los cometas, los satélites, obedecen todos a esta fuerza misteriosa, jirando al rededor de un centro, con velocidades de gravitacion que siguen la razon directa de las masas atrayentes, i la inversa del cuadrado de sus respectivas distancias, i con perturbaciones periódicas i seculares que la lei sola de la gravitacion universal esplica i desenvuelve en sus mas pequeños pormenores. Introduzcamos ahora la tierra inmóvil en este sistema de tantas i tan evidentes armonías; i todo ese orden maravilloso se desvanece. La jerarquía de las masas no existe. El sol, con todos los cuerpos que obedecen a su poderosa influencia, gravita acia un pequeño globo, cuya cantidad de materia es a la suya sola, como la unidad a 355, 000!

## CAPÍTULO XV.

## DEL CALENDARIO.

1. Año de 365 dias.
2. Año juliano.
3. Correccion gregoriana.
4. Ciclo solar i letra dominical.
5. Ciclo lunar; áureo número, Epacta.
6. Indiccion romana i período juliano.

## 1.

Llámase *Calendario* la descripcion del año civil, determinado por el movimiento aparente del sol, i dividido en meses, semanas i dias.

El tiempo que gasta el sol en volver al equinoccio, es, como dijimos en su lugar, la duracion del año trópico; período que ha interesado siempre a los hombres, porque es una medida natural de los trabajos que dependen de las estaciones: su conocimiento es de una alta importancia para la agricultura, el comercio i los viajes.

La duracion del año civil es la misma del año trópico; pero aquel principia actualmente el 1.º de enero en todas las naciones cristianas, aunque no para todas es el 1.º de enero un mismo dia, como despues veremos.

Bajo la segunda raza de los reyes de Francia el año principiaba el dia de Navidad. Bajo la tercera raza prevaleció la costumbre de principiar el año el dia de Pascua de Resurreccion; de que resultaba que el número de dias del año era una cantidad fluctuante, cuyos límites podian extenderse hasta 33 dias de diferencia. Un edicto de Carlos IX, del mes de enero de 1563, ordenó que en adelante se fijase el 1.º de aquel mes como principio del año.

En España, si se contaban los años por la era española, que añadía 38 a la era vulgar, se miraba como principio del año el 1.º de enero. Duró allí el cómputo de los años por la era española hasta 1350, i entónces empezaron a contarse desde el 25 de diciembre; práctica que todavía duraba por el siglo XV, pues hablando del fallecimiento del rey don Enrique el doliente, dice así el P. Juan de Mariana: "Falleció el rei don Enrique en la ciudad de Toledo en veinte i cinco de diciembre, principio del año del Señor de mil quatrocientos i siete". Ignoramos la fecha precisa en que se volvió a la costumbre romana de principiar el año en 1.º de enero.

No estará de mas dar idea del calendario de los romanos, que en parte ha servido de modelo al nuestro. El primero de los meses era primitivamente marzo (*martius*), consagrado a Marte: el segundo, abril (*aprilis*) de *aperire*, abrir, porque en el clima de Italia parece entonces abrirse la naturaleza para dar á luz las nuevas producciones de la tierra: el tercero, mayo, del nombre de Maia, madre de Mercurio, o mas bien, la Tierra; el cuarto, junio, consagrado a Juno; el quinto, julio, dedicado a Julio César, i llamado ántes *quintilis*; el sexto, agosto (*augustus*), llamado así en honor de Augusto, ántes *sextilis*; el séptimo, setiembre; el octavo, octubre; el noveno, noviembre; el décimo, diciembre; el undécimo, enero (*januarius*), en honor del Dios Jano; i el duodécimo, febrero, (*februarius*), de *februa*, sacrificios a las almas de los difuntos. Pero este orden se alteró muy temprano, i el mes de enero fué el que dió principio al año civil romano. El número de dias de los meses era el mismo que ahora.

El primer dia de cada mes se llamó *calendas*, de *calare*, llamar, porque en él se cobraban los réditos i alquileres. Las *Nonas* eran el séptimo dia de marzo, mayo, julio i octubre, i el quinto de los otros meses: se llamaban así porque caian constantemente en el noveno dia ántes de los *Idus*. Finalmente, el nombre de *Idus* se daba al dia 15 de los cuatro meses precitados, i al dia 13 de los otros: es dudosa la etimología de esta palabra.

Los demas dias se denominaban con respecto a las *calendas*, *nonas* e *idus* en un orden retrógado; así el 2 de enero se llamaba *cuarto nonas* i el 2 de marzo *sexto nonas*, porque contando desde las *nonas* acia atras, eran respectivamente el cuarto i sexto dia. Por la misma razon *octavo idus* era en todos los meses el dia siguiente al de las *nonas*. De la misma manera *tertio calendas januarias* era el 30 de diciembre; i *décimo calendas februarias* el 23 de enero. El dia inmediatamente anterior al de las *calendas*, *nonas* e *idus*, se llamaba *pridie calendas*, *pridie nonas*, *pridie idus*.

En los años bisiestos se intercalaba un dia despues del *sexto calendas martias*, que era el 24 de febrero, i este dia intercalar se llamó *bis sexto calendas martias*, que corresponde a nuestro 25 de febrero en esos años.

El nombre de los dias de la semana nos ha venido tambien de los romanos: *lúnes* es el dia de la luna, *mártes* el dia de Marte, *miércoles* el dia de Mercurio, *jueves* el de Júpiter o Jove, *viérnes* el de Vénus: ex-ceptúanse el *domingo* (*dominica*, dia del Señor), llamado ántes dia del

sol; i el *sábado* (*sabbatum*, día séptimo de la semana entre los judios), llamado ántes día de Saturno. Pero otras naciones conservan las denominaciones romanas, traducidas o adaptadas; como los ingleses, que llaman al domingo *sunday* (día del sol), al jueves *thursday* (día de *Thor*, que era el Júpiter de la mitología escandinava), al sábado *saturday*, (día de Saturno), &c.

Como el período semanal o hebdomarario es institucion hebraica i no romana, parece a primera vista estraño que se hubiesen dado a los dias de la semana los nombres de los siete astros que los romanos contaban en el número de sus divinidades. La causa es curiosa. Cada una de esas divinidades presidia sucesivamente a las doce horas del dia i de la noche, en el órden siguiente: Saturno, Júpiter, Marte, el Sol, Vénus, Mercurio, la Luna. Comenzando a contar la primera hora de un dia por Saturno, i siguiendo hasta completar las 24, la primera hora del dia siguiente tocaba al Sol; la primera hora del dia tercero a la Luna; la del dia cuarto a Marte; la del dia quinto a Mercurio; la del dia sexto á Júpiter; la del dia séptimo a Vénus; la del octavo otra vez a Saturno; la del noveno al Sol, &c. Resultó así un período septenario que pudo conciliarse perfectamente con el hebreo, i dándose a cada dia el título de la divinidad que presidia a su primera hora, vinieron a quedar los nombres de los dias de la semana en el órden que hoy tienen.

El calendario de la revolucion francesa, asociado a hechos históricos que no se olvidarán jamas, merece tambien ser conocido. La Convencion Nacional, por decreto de 5 de octubre de 1793, sustituyó al calendario vulgar otro nuevo. Segun él la era de los franceses principiaba el 22 de Setiembre de 1792 de la era vulgar, dia en que el sol llegaba al verdadero equinoccio de otoño entrando en el signo de Libra. Cada año debia principiarse a la media noche que precede al exacto equinoccio de otoño, i se dividia en 12 meses iguales de a 30 dias, que se llamaban: los de otoño, *vendimiario*, *brumario*, *frimario* (de las escarchas); los de invierno, *nivoso*, *pluvioso*, *ventoso*; los de primavera, *germinal*, *floral*, *prairial* (de los prados); los de estío, *messidor*, *termidor* (de los calores), *fructidor*. Añadíanse a los 12 meses 5 dias llamados *sansculótides*, i luego despues *complementarios*, i de cuando en cuando un dia mas para ajustar el año civil al trópico. Ademas, abolida la semana, se dividió cada mes en tres *décadas*, cuyos dias se llamaban, *primidi*, *duodi*, *tridi*, *quartidi*, *quintidi*, *sextidi*, *septidi*, *octidi*, *nonidi*, *decadi*. El calendario republicano tuvo 13 años de existencia. Bonaparte, primer cónsul, lo abolió el 21 de fructidor año 13, como incompatible con la existencia legal del culto católico.

Compónese el año trópico de 365 días y una fracción mas; pero despreciada, o mas bien no conocida esta fracción, se dieron desde luego al año civil, que regla los trabajos de la sociedad, 365 días, ni mas ni menos. La inexactitud de esta regla se conoció muy pronto; porque acumulándose la fracción ignorada, que es como la cuarta parte de un día, produce como un día entero en cuatro años, i seis meses en 750 años, haciendo al cabo de este tiempo que la primavera i el estío, segun el cómputo civil, coincidan con el otoño e invierno verdaderos, en que decrecen los días i suceden las heladas a los calores.

## 2.

Tal era el estado en que se hallaba al año de los romanos cuando Julio César determinó correjirlo, ayudado de Sosígenes, astrónomo de Alejandría. Para restituir a las estaciones el lugar que les correspondia, le fué preciso determinar que durase 445 días el año corriente, (llamado por eso *año de la confusión*), i que de allí en adelante se intercalase cada cuatro años un día en el mes de febrero. Los años sujetos a esta correccion, que de su nombre se llamó *juliana*, constan, pues, de 365 días i seis horas; i como el día intercalar, por su posición en el calendario romano, se denominaba *bis sexto* a los años de la intercalacion se dió el título de *bisiestos*.

Los pueblos cristianos adoptaron la correccion juliana; pero su era es diferente de la de los romanos, que contaban los años desde la fundacion de Roma. En la era vulgar se cuentan desde el nacimiento de Cristo, o mas bien desde el año a que se conjeturó que debia referirse este suceso; cuya época es incierta, como lo prueban las diversas opiniones de los cronolojistas.

## 3.

El año juliano se acerca bastante al año trópico; pero no coincide exactamente con él. El sol tarda en volver al equinoccio, no 365d. i 6h. cabales, sino 365d. 5h. i cerca de 49'; i acumulándose la diferencia, compone en 131 años un día cabal. El equinoccio de Aries, que en el primer año de la correccion juliana caia en 25 de marzo, a la época de la celebracion del concilio de Nicea, o en el año 325 de la era cristiana, caia en el 21 de marzo, i por el año de 1582 en el 11. Para remediar este defecto, el Papa Gregorio XIII determinó hacer otra correccion en el calendario. Ordenó que se quitasen 10 días a octubre, i que el cinco

de aquel mes se llamase quince; i para precaver la anticipacion del equinoccio en adelante, dispuso que conservándose los otros bisiestos de la intercalacion juliana, dejasen de serlo en jeneral los años seculares como 1700, 1800, 1900; exceptuando solamente aquellos en que el número del siglo fuese divisible por 4, como 1600, 2000, 2400. La correccion gregoriana se acerca de tal modo a la duracion verdadera del año trópico, que en cinco mil años producirá apénas una diferencia de dia i medio.

La regla que se sigue en la intercalacion, reúne ahora a la sencillez i la exactitud la facilidad de recordarse. Los años divisibles por 4 son bisiestos; excepto los seculares, que no lo son, sino cuando el número del siglo es divisible por 4.

La correccion gregoriana, llamada comunmente *nuevo estilo*, fué inmediatamente adoptada en España, Portugal e Italia. Introdújola en Francia, en octubre del mismo año, Henrique III, mandando que el 10 de aquel mes se llamase 20. En Alemania la recibieron el año de 1583 los estados católicos; los protestantes no adhirieron al calendario italiano hasta el año de 1700. Lo mismo hizo la Dinamarca. La Inglaterra tardó mas: por acta del parlamento el 3 de setiembre de 1752 se reputó 14, porque la diferencia entre el antiguo i el nuevo estilo era ya de 11 dias. La Suecia imitó este ejemplo el año siguiente; i la Rusia es hoy el único pais cristiano en que subsiste el viejo estilo.

#### 4.

Como el número 365 no es divisible por 7, que es el número de los dias de la semana, no corresponden estos constantemente a unos mismos dias del año. El 29 de marzo, que el año de 1845 fué sábado, fué domingo en el año siguiente de 46, i lunes en el de 47. Si a lo ménos los años constaran todos de igual número de dias, al cabo de cada septenario volverian a caer en los mismos dias del año los siete de la semana, i bajo este respecto cada septenio reproduciria constantemente los anteriores. Pero los dias intercalares turban este órden, i como la intercalacion ha variado, i aún despues de la correccion gregoriana varía algunas veces de siglo a siglo, (pues, por ejemplo, desde 1.º de enero de 1801 hasta 31 de diciembre de 1900 inclusive, debe haber 25 dias intercalares, i desde 1.º de enero de 1901 hasta 31 de diciembre de 2000 solamente 24), no se puede establecer una fórmula general para la resolucion de este problema: "encontrar el dia de la semana que ha correspondido o debe corresponder a cualquier dia de cualquier año de la era cristiana." Indica-

remos pues un método que con algunas modificaciones es susceptible de acomodarse a todos los casos.

Dióse el nombre de *ciclo solar* a un período de 28 años en que los días de la semana se repetían exactamente en los mismos días del año, de modo que si el 23 de setiembre, por ejemplo, era viénes en el segundo año de un ciclo, era viénes en todos los años segundos de todos los ciclos. Se llamó solar, no porque tuviese nada que ver con el curso del sol, sino porque servía para fijar el domingo, que se llamaba i todavía se llama en muchas partes día del sol; fijado el cual, quedaba determinado el órden de los demas días de la semana en el año.

Llamóse A el día primero de enero; B el día 2; C el 3; D el 4, E el 5; F el 6; i G el 7; i despues de esto volvian a emplearse las mismas letras en el mismo órden para significar los demas días del año; siendo A por consiguiente 8 de enero, 15 de enero, &c; B, 9 de enero, 16 de enero, &c. Continuando la série hallaríamos que el 15 de abril, por ejemplo, es E, i el 8 de mayo B.

Así, en cada año determinado del ciclo solar, cada letra significa siempre un mismo día de la semana: por ejemplo, si el primero de enero es domingo, A será la letra dominical, esto es, la letra que señalará el domingo en todos los días del año; a ménos que el año sea bisiesto, en el cual el domingo (i lo mismo se aplica a los otros días de la semana) es representado por una letra en enero i febrero, i por otra en los demas meses. La cuestion se reduce a saber la letra dominical del año comun, o las dos letras dominicales del año bisiesto.

Debe tambien tenerse presente que el primer año de la era cristiana no coincidió con el primero del ciclo solar, sino con el décimo. Por consiguiente, para saber el lugar de un año en el ciclo solar, o segun se dice abreviadamente, el ciclo solar de un año, deben añadirse 9, i dividir la suma por 28. El residuo expresará el lugar que al año de que se trata corresponde en el ciclo, o en otros términos, el ciclo solar de ese año. ¿Cuál fué, por ejemplo, el ciclo solar del 679 de la era cristiana? Añado 9; i divido la suma 688 por 28: obtengo el cociente 24 i el residuo 16; el ciclo solar de aquel año fué 16; esto es, aquel año fué el décimo sexto de su ciclo solar. ¿Pero cuál fué la letra dominical de ese año? La tabla siguiente lo muestra.

1.....	G, F.	11.....	A.	21.....	C, B.
2.....	E.	12.....	G.	22.....	A.
3.....	D.	13.....	F, E.	23.....	G.
4.....	C.	14.....	D.	24.....	F.
5.....	B. A.	15.....	C.	25.....	E, D.

6.....	G.	16.....	B.	26.....	C.
7.....	F.	17.....	A. G.	27.....	B.
8.....	E.	18.....	F.	28.....	A.
9.....	D. C.	19.....	E.		
10.....	B.	20.....	D.		

En frente del número 16 encuentro la letra B: B es la letra dominical del año de 679, i de todos los años cuyo ciclo solar sea 16. El dos de enero de todos esos años es domingo, i por consiguiente el primero de enero sábado; el 3, lunes; el 4, martes, &c. ¿Cuál fué la letra dominical de 692? Su ciclo solar fué 1; su letra dominical para enero i febrero, G; para el resto del año, F. Fueron domingos el 7, 14, 21, i 28 de enero; el 4, 11, 18, i 25 de febrero: el 26 de febrero (A) fué lunes; el 27 (B) fué martes; el 28 (C) miércoles; el 29 (D) juéves. Pero esta letra corresponde al primero de Marzo i es preciso repetirla; de que resulta que el 1.º de marzo es D i viérnes; el 2 de marzo E i sábado; el 3 de marzo F i domingo. Varía pues la letra dominical desde este mes, i lo mismo sucede en todos los años bisiestos.

Si el residuo es cero, el ciclo solar es 28. Por ejemplo, al año 47 de la era cristiana, añado 9; divido la suma 56 por 28; el residuo es cero; el ciclo solar es 28.

Desde el año de 1582, en que se efectuó la correccion gregoriana, varió la cuenta. La letra dominical, segun el antiguo estilo, era G; la correccion la hizo C. Desde allí hasta el año de 1699, para hacer uso de la tabla anterior debe añadirse 10 al número de la letra dominical del viejo estilo, i deducir los múltiplos de 7. El residuo será el número de la letra dominical, nuevo estilo. Por ejemplo, el ciclo de 1661, es 18, i su letra dominical, viejo estilo, F, cuyo número es 6, porque la sexta en el órden alfabético es la F. De 16 deduzco los múltiplos de 7, i queda el residuo 2, que corresponde a B, letra dominical, nuevo estilo. Otro ejemplo: se pide la letra dominical de 1660. La del viejo estilo es A, G.

$$A = 1.$$

$$1 + 10 = 11.$$

$$11 \text{ partido por } 7 \text{ deja el residuo } 4 = D.$$

$$G = 7.$$

$$7 + 10 = 17.$$

$$17 \text{ partido por } 7 \text{ deja el residuo } 3 = C.$$

$$\text{Letra dominical de 1660 (n. e.) } D, C.$$

El año de 1700 introdujo otra novedad en el ciclo. Como segun el estilo antiguo debiera haber sido bisiesto i no lo fué, es preciso añadir 11 al número de la letra dominical de la tabla. ¿Se quiere saber la del año

de 1714? Su ciclo es 15; letra dominical, antiguo estilo, C; añadiendo 14 a 3, saco 14; deducidos los múltiplos de 7, queda cero, que es como si quedara 7: la letra dominical, nuevo estilo, es G.

El año de 1800 no fué tampoco bisiesto. Es necesario, por consiguiente, en este siglo añadir 12 a la letra dominical antigua. Así el año de 1845, cuya letra dominical es G, antiguo estilo, me da para la del nuevo  $7 + 12$ , que hacen 19, i deducidos los múltiplos de 7, 5, número que corresponde a E. En efecto el 5 de enero fué domingo, como el 12, 19, &c. En cada año secular que no sea bisiesto es preciso añadir una unidad mas a la diferencia entre el antiguo i el nuevo estilo.

Ya se deja ver que sin embargo de que hacemos uso de la tabla del ciclo solar de 28, este ciclo desde la correccion gregoriana no existe, porque el orden en que los dias de la semana se ajustan al mes no es uno mismo sino dentro de un mismo siglo, o dentro de dos a lo mas. Los 28 años que corrieron desde 1672 hasta 1699, no son bajo este respecto enteramente semejantes a los 28 siguientes, pues en aquellos hubo siete años bisiestos i en los últimos solo seis. No hai un período de ménos de 2800 años en que se obtenga la completa uniformidad que era el carácter del antiguo ciclo de 28.

Como muestra del uso que se hace de la letra dominical en la cronología, proponemos la cuestion siguiente: suponiendo que la fecha de la famosa batalla del Guadalete, en que tuvo fin el reinado de los godos i principió la dominacion árabe en España, hubiese sido el 31 de julio de 711, ¿fué viérnes aquel dia, como dicen algunos historiadores?

$$711 + 9 = 720.$$

720 dividido por 28 deja el residuo 20.

A 20 corresponde la letra dominical D=4.

El 4 de enero fué domingo, por tanto lo fueron tambien el 11, 18, i 25 de enero; el 1, 8, 15, 22, de febrero; el 1, 8, 15, 22, 29 de marzo; el 5, 12, 19, 26 de abril; el 3, 10, 17, 24, 31 de mayo; el 7, 14, 21, 28 de junio; el 5, 12, 19, 26 de julio. Por consiguiente el 31 de julio fué efectivamente viérnes.

## 5.

La revolucion sinódica de la luna ha llamado tambien la atencion de todos los pueblos, i tiene una importancia especial para las naciones cristianas, como vamos a ver. Llamóse *Ciclo Lunar* un período de 19 años julinos, al cabo del cual los novilunios i las diferentes fases de a la luna se

repiten en el mismo orden. En efecto, la revolucion sinódica de la luna es de 29d.530588, i 235 revoluciones de esta especie, que entran en el ciclo lunar, hacen 6939d.688180, que son con poca diferencia diez i nueve años julianos de 365d. 25, pues estos componen 6939d.75. La diferencia es de 0d. 06182. El ciclo lunar fué un período de mucho uso entre los griegos. Su descubridor Meton lo presentó a la Grecia reunida para la celebracion de los juegos olímpicos; i los atenienses lo hicieron inscribir en letras de oro. De aquí el nombre de *Aureo Número*, que se da al número del año del ciclo, que coresponde a un año dado.

El primer año de la era cristiana fué 2.º del ciclo lunar. Se obtendrá pues fácilmente el áureo número añadiendo al número del año de la era cristiana la unidad, i dividiendo la suma por 19. El residuo es el áureo número. Así el de 1808 es 4, i el de 1848, 6.

En la correccion gregoriana se da el nombre de Epacta a la edad que tiene la luna el 1.º de enero, esto es, al tiempo corrido desde el último novilunio; i se supone que el exceso del año solar sobre el lunar, compuesto de 12 revoluciones sinódicas, es 11 dias. En el primer año del ciclo lunar la epacta es cero, en el segundo la epacta es 11, en el tercero 22; en el cuarto 3, (deducido un mes lunar); i así hasta el fin del ciclo, deduciendo siempre un mes lunar de 30 dias, cuando la epacta es 30 o mas, i un mes de 29 dias en el último año del ciclo, el cual termina, como principia, en novilunio. Este cómputo, sin embargo, es una aproximacion que en cuatro siglos gregorianos anticipará mas de dia i medio los novilunios; i demandará con el trascurso del tiempo una correccion como la del año civil.

En efecto, como 400 años gregorianos son justamente 146097d. el año gregoriano medio es de 365d. 2425. Diez i nueve años gregorianos hacen, por tanto, 6939d.6075. Pero 235 revoluciones sinódicas de la luna componen realmente, segun hemos dicho, 6939d. 688180. El ciclo lunar del calendario es por consiguiente demasiado corto, i la diferencia monta a 0d.08068, que multiplicada por 21, número de ciclos lunares en 4 siglos, hace 1d.69428.

La epacta gregoriana se computa para cualquier tiempo del modo siguiente. El número del siglo se divide por 4: el residuo se multiplica por 17 i se le añade el cociente multiplicado por 43: la suma, mas 86, se divide por 25, i el cociente se subtrae del áureo número multiplicado por 11. El residuo, desechados los treinta, es la epacta. Búsquese, por ejemplo, la de 1808.

18 dividido por 4 da el cociente 4 i deja el residuo 2.

$$\begin{aligned}
 2 \times 17 &= 34 \\
 43 \times 4 &= 172 \\
 172 + 34 &= 206 \\
 206 + 86 &= 292 \\
 292 \text{ dividido por } 25 &\text{ da el cociente } 11. \\
 11 \times 4 \text{ (áureo número)} &= 44. \\
 44 - 11 &= 33. \\
 33, \text{ sacados los treinta, deja } &3.
 \end{aligned}$$

La epacta que se busca es 3.

Por un método semejante encontraríamos que la epacta de 1848 es 25.

Para hallar la epacta de un año de este siglo se puede adoptar una regla mui fácil. El áureo número, ménos 1, se multiplica por 11. El producto, sacados los treinta, es la epacta.

$$\begin{aligned}
 4 \text{ (áureo número)} - 1 &= 3. \\
 11 \times 3 &= 33.
 \end{aligned}$$

Sacados los treinta, queda 3, epacta de 1808, i de todos los años de este siglo que tengan el áureo número 4.

¿Se pide la epacta de 1845 ?

$$3 \text{ (áureo número)} - 1 = 2.$$

$11 \times 2 = 22$ ; epacta. La luna tenia pues, segun esta regla, 22 dias de edad el 1.º de enero de 1845.

La Iglesia se vale de la epacta para fijar el dia del año en que debe caer la dominica de Pascua, que, segun la intencion del Concilio Niceño, ha de ser la primera despues del plenilunio que sigue inmediatamente al equinoccio de Aries. De esta dominica dependen casi todas las fiestas movibles; lo que da a su fecha una importancia mui grande en los pueblos cristianos. El método para determinarla es el que vamos a indicar.

1.º Se fija un *límite*; i para ello se añade 6 a la epacta, i si la suma es 30 o mas, se rebaja 30; el residuo se subtrae de 50; i lo que resta es el límite. Si la epacta + 6 no llega a 30, se subtrae de 50 la suma, i el residuo es el límite; que no debe pasar nunca de 40, ni ser inferior a 21.

2.º Fijado el límite, añádase 4 a la letra dominical de marzo; rebájese del límite esta suma: lo que resta se rebaja del próximo múltiplo de 7; añádase el residuo al límite; i la suma es el número de dias desde el 1.º de marzo hásta el dia de Pascua, incluyéndose uno i otro.

Tómese por ejemplo el año de 1845.

$$\begin{aligned}
 6 + 22 \text{ (epacta)} &= 28. \\
 50 - 28 &= 22: \text{ límite.}
 \end{aligned}$$

$$5 \text{ (letra dominical)} + 4 = 9.$$

$$22 \text{ (límite)} - 9 = 13.$$

$$14 \text{ (próximo múltiplo de 7)} - 13 = 1.$$

$$1 + 22 \text{ (límite)} = 23; \text{ 23 de marzo día de Pascua.}$$

¿ En qué día del año de 1812 acaeció el gran terremoto de Carácas, que fué en juéves santo?

$$1812 + 9 = 1821.$$

1821 dividido por 28 deja el residuo 1: ciclo solar. Letra dominical, antiguo estilo, G, F=7, 6.

7, 6 + 12 (diferencia de estilo) = 19, 18; sacados los siete, 5, 4: letra dominical de marzo, nuevo estilo, 4.

$$1812 + 1 = 1813.$$

1813 dividido por 19 deja el residuo 8, áureo número.

$$8 - 1 = 7.$$

$7 \times 11 = 77$ ; sacados los treinta 17, epacta.

$$17 + 6 = 23.$$

$$50 - 23 = 27, \text{ límite.}$$

$$4 + 4 \text{ (letra dominical)} = 8.$$

$$27 - 8 = 19.$$

$$21 - 19 = 2.$$

$27 + 2 = 29$  de marzo, domínica de Pascua: 26, juéves santo.

En qué día del año 1810 fué la revolucion de Carácas, que tambien acaeció en juéves santo?

$$1810 + 9 = 1819.$$

Divido por 28 i me da el residuo 27, a que corresponde la letra dominical (e.) B=2. Añado la diferencia de estilo i saco 14; letra dominical (n. e.) G=7.

$$1810 + 1 = 1811.$$

Parto por 19; residuo 6; áureo número.

$$6 - 1 = 5.$$

$$11 \times 5 = 55.$$

$$55 - 30 = 25. \text{ Epacta.}$$

$$25 + 6 = 31.$$

$$31 - 30 = 1.$$

$$50 - 1 = 49. \text{ Límite.}$$

$$4 + 7 = 11.$$

$$49 - 11 = 38.$$

$$42 - 38 = 4.$$

$$49 + 4 = 53.$$

De 53 rebajo los 31 dias de marzo, i el residuo es 22 de abril, do minica de Pascua: 19, juéves santo.

Por medio de la domínica de Pascua se determinan casi todas las otras fiestas movibles de la Iglesia Católica del modo siguiente:

Domínica de Septuajésima	63 dias ántes.
Miércoles de Ceniza . . . . .	45 id.
Ascension . . . . .	39 despues.
Pentecostes . . . . .	49 id.
Santís. Trinidad. . . . .	56 id.
Córpus Christi. . . . .	60 id.

## 6.

Hay otros dos ciclos, la indiccion romana i el período juliano, que daremos a conocer por el uso que se hace de ellos en la cronolojia.

*La Indiccion romana* es un período de quince años, que fué usado de los romanos, i lo es todavía en las bulas del Sumo Pontífice, i en ciertos tribunales eclesiásticos. El año primero de la era cristiana fué el 4.º de la indiccion 4.ª Añadiendo pues 3 a la era cristiana, i dividiendo por 18, el residuo es la indiccion. La del año de 1835, por ejemplo, fué 8; porque  $1835 + 3 = 1838$ , i 1838 dividido por 15 da el cociente 122 i sobra 8.

El *Período Juliano*, llamado así del nombre de su inventor Julio César Scalijero, consta de 7980 años; producto de 28 (ciclo solar), 19 (ciclo lunar), i 15 (indiccion). Sirve para referir a él, como término universal de comparacion, los sucesos históricos; por él se determinan tambien fácilmente los años de los otros ciclos. El 4714 de este período coincide con el 1.º de la era cristiana. Añadiendo pues a la era cristiana 4713, obtendremos el año del período juliano a que corresponde un año dado. Así el de 1848 es 6561.

Si se divide este número por 28, por 19 i por 15, los respectivos residuos son, 9 (ciclo solar de dicho año), 6 (ciclo lunar o áureo número), i 6 (indiccion romana).

**FIN.**

## INDICE.

---

COSMOGRAFIA .....	páj. 9
CAPÍTULO I. Primeras nociones de la Tierra.....	id.
1. <i>Idea jeneral de la Tierra</i> .....	10
2. <i>Efectos visibles de la redondez de la Tierra: horizonte, vertical, zenit, nadir: depresion del horizonte</i> .....	id.
3. <i>Grandes aproximacion de la Tierra a la forma esférica</i> .....	11
4. <i>Atmósfera</i> .....	12
5. <i>Refraccion</i> .....	14
CAPÍTULO II. Esfera celeste.....	16
1. <i>Espectáculo del cielo</i> .....	id.
2. <i>Esfera celeste: estrellas fijas</i> .....	17
3. <i>Rotacion de la esfera; eje, polos; línea equinoccial</i> .....	id.
4. <i>Paralelos</i> .....	18
5. <i>Horarios</i> .....	19
6. <i>Declinacion: ascencion recta</i> .....	id.
7. <i>Horizonte sensible i horizonte racional</i> .....	20
8. <i>Meridiano celeste</i> .....	21
9. <i>Puntos cardinales, i puntos medios de cuadrante i octante</i> .....	id.
10. <i>Varias posiciones de la esfera celeste respecto de los varios horizontes</i> .....	23
11. <i>Altitud i azimut</i> .....	24
12. <i>Puntos i líneas de la Tierra, análogos a los de la esfera celeste: eje, polos, ecuador, meridianos i paralelos terrestres</i> .....	25
13. <i>Latitudes i lonjitudes de los diferentes parajes de la Tierra</i> .....	id.
14. <i>Constelaciones; via láctea; estrella polar</i> .....	26
CAPÍTULO III. Idea mas exacta del globo terráqueo.....	27
1. <i>Movimiento de rotacion de la Tierra</i> .....	id.
2. <i>Tiempo que dura una rotacion completa de la Tierra: día sideral</i> .....	29
3. <i>Medida de las lonjitudes terrestres por el tiempo</i> .....	30
4. <i>Medida de las latitudes</i> .....	33
5. <i>Mapas</i> .....	id.
6. <i>Verdadera figura i dimensiones de la Tierra</i> .....	id.
7. <i>Pruebas físicas del movimiento rotatorio de la Tierra</i> .....	35
8. <i>Continentes i mares</i> .....	38
9. <i>Peso de la Tierra</i> .....	39

	pág.
CAPÍTULO IV. Del Sol.....	id.
1. <i>Eclíptica; equinoccios; signos; zodiaco</i> .....	40
2. <i>Movimiento aparente del sol entre las estrellas; año sideral; solsticios, colures, trópicos</i> .....	41
3. <i>Posiciones de los objetos celestes referidos a la eclíptica; eje i polos de la eclíptica; círculos polares: círculos de latitud; latitudes i longitudes de los objetos celestes</i> .....	43
4. <i>Paralajes</i> .....	id.
5. <i>Variaciones en la velocidad del movimiento aparente del sol en la eclíptica; variaciones en el movimiento aparente del sol en ascension recta, i en la duracion del dia solar; dia solar verdadero i dia solar medio; tiempo aparente i tiempo medio; ecuacion del tiempo</i> .....	45
6. <i>Movimiento eclíptico del sol</i> .....	47
7. <i>Distancia de la Tierra al sol</i> .....	48
8. <i>Magnitud del sol</i> .....	id.
9. <i>Movimiento aparente del sol explicado por el movimiento real de la Tierra</i> .....	49
10. <i>Paralaje heliocéntrica; longitudes i latitudes heliocéntricas</i> .....	id.
11. <i>Paralelismo del eje terrestre</i> .....	50
CAPÍTULO V. Perturbaciones del movimiento elíptico de la Tierra.....	id.
1. <i>Perturbaciones periódicas i seculares</i> .....	51
2. <i>Oscilaciones seculares i periódicas de la oblicuidad de la eclíptica</i> .....	id.
3. <i>Precesion de los equinoccios</i> .....	52
4. <i>Año sideral i año trópico: relacion del dia solar al sideral</i> .....	55
5. <i>Valor variable del año trópico</i> .....	56
6. <i>Anomalía i año anomalístico</i> .....	id.
7. <i>Variacion de la excentricidad</i> .....	58
8. <i>Recopilacion</i> .....	id.
CAPÍTULO VI. Constitucion fisica del sol.....	59
1. <i>Masa i densidad del sol</i> .....	id.
2. <i>Manchas</i> .....	id.
3. <i>Atmósfera solar</i> .....	60
4. <i>Fáculas</i> .....	id.
5. <i>Rotacion</i> .....	id.
6. <i>Luz zodiacal</i> .....	61
7. <i>Temperatura</i> .....	id.
8. <i>Constitucion fisica del sol, segun Arago</i> .....	62
CAPÍTULO VII. Del dia i la noche, las estaciones i los climas.....	63
1. <i>Círculos trópicos i polares de la Tierra; zonas</i> .....	id.
2. <i>Postulados</i> .....	64
3. <i>Círculos de iluminacion; dia, noche i estaciones</i> .....	id.
4. <i>Climas</i> .....	69
5. <i>Antípodas, periecos i antecos</i> .....	70
6. <i>Predominio de la luz sobre las tinieblas; crepúsculo</i> .....	id.
7. <i>Temperatura de la Tierra</i> .....	72

	páj.
CAPÍTULO VIII. De la luna.....	75
1. <i>Orbita i período sideral de la luna</i> .....	<i>id.</i>
2. <i>Dimensiones de la luna</i> .....	76
3. <i>Magnitud de la órbita lunar; nodos; movimiento espiral de la luna; movimiento de los ápsides</i> .....	<i>id.</i>
4. <i>Fases</i> .....	77
5. <i>Eclipses i ocultaciones</i> .....	78
6. <i>Perturbaciones seculares i periódicas de la órbita lunar</i> .....	81
7. <i>Rotacion de la luna: libracion</i> .....	82
8. <i>Observaciones lunares</i> .....	83
9. <i>Constitucion física de la luna</i> .....	85
CAPÍTULO IX. Del sistema planetario.....	86
1. <i>Planetas en general</i> .....	87
2. <i>Planetas zodiacales</i> .....	88
3. <i>Planetas inferiores</i> .....	<i>id.</i>
4. <i>Planetas superiores</i> .....	89
5. <i>Planetas ultraaodiacales</i> .....	90
6. <i>Leyes de Keplero</i> .....	<i>id.</i>
7. <i>Elementos de las órbitas planetarias</i> .....	91
8. <i>Perturbaciones de las órbitas planetarias</i> .....	<i>id.</i>
9. <i>Constitucion física de los planetas: satélites</i> .....	92
10. <i>Aberracion i velocidad de la luz</i> .....	95
11. <i>Prueba física del movimiento orbital de la Tierra</i> .....	97
12. <i>Cuadro de los planetas</i> .....	98
CAPÍTULO X. De la gravitacion universal . . . . .	101
1. <i>Gravitacion terrestre i gravitacion de la luna a la Tierra</i> . . . . .	<i>id.</i>
2. <i>Gravitacion de los satélites a sus primarios i de los planetas al sol</i> . . . . .	102
3. <i>Corolarios de las leyes de Keplero: gravitacion universal</i> . . . . .	<i>id.</i>
4. <i>Perturbaciones de la elipticidad orbital explicada por la atraccion</i> . . . . .	103
5. <i>Forma esféricas de los cuerpos celestes producida por la misma causa; precesion de los equinoccios, nutaciones lunar i solar del globo terrestre, explicadas tambien por la atraccion</i> . . . . .	104
6. <i>Mareas</i> . . . . .	105
7. <i>Recientes descubrimientos en el sistema planetario</i> . . . . .	106
CAPÍTULO XI. de los Cometas . . . . .	108
1. <i>Número de los cometas</i> . . . . .	<i>id.</i>
2. <i>Aspecto i constitucion física de estos astros</i> . . . . .	109
3. <i>Su movimiento</i> . . . . .	111
4. <i>Cometas de Halley, de Encke i Biela</i> . . . . .	112
5. <i>Perturbaciones</i> . . . . .	114
6. <i>Cometas de 1843 i 1845</i> . . . . .	<i>id.</i>
7. <i>Magnitud de algunos cometas</i> . . . . .	115
CAPÍTULO XII. De los aerolitos . . . . .	116
1. <i>Su composicion química</i> . . . . .	<i>id.</i>
2. <i>No se forman en la atmósfera ni proceden de volcanes lunares ó terrestres</i> . . . . .	<i>id.</i>

	páj.
3. <i>Son pequeños planetas</i> . . . . .	117
4. <i>Apariencias que presentan.</i> . . . . .	<i>id.</i>
5. <i>Su periodicidad</i> . . . . .	118
<b>CAPÍTULO XIII. De las estrellas</b> . . . . .	119
1. <i>Carácter general, clasificacion i distribucion de las estrellas en el espacio</i> . . . . .	<i>id.</i>
2. <i>Via láctea; firmamentos diversos en las regiones celestes.</i> . . . .	120
3. <i>Distancia de las estrellas.</i> . . . . .	121
4. <i>Sus dimensiones</i> . . . . .	122
5. <i>Su destino</i> . . . . .	<i>id.</i>
6. <i>Estrellas periódicas.</i> . . . . .	123
7. <i>Estrellas dobles, triples i múltiples.</i> . . . . .	124
8. <i>Colores de las estrellas dobles.</i> . . . . .	125
9. <i>Movimiento de las estrellas</i> . . . . .	<i>id.</i>
10. <i>Nébulas.</i> . . . . .	128
<b>CAPÍTULO XIV. Resúmen de las principales pruebas del movimiento de la Tierra</b> . . . . .	131
<b>CAPÍTULO XV. Del Calendario</b> . . . . .	133
1. <i>Año de 365 días</i> . . . . .	<i>id.</i>
2. <i>Año juliano</i> . . . . .	136
3. <i>Correccion gregoriana</i> . . . . .	<i>id.</i>
4. <i>Ciclo solar; i letra dominical.</i> . . . . .	137
5. <i>Ciclo lunar; áureo número; epacta.</i> . . . . .	140
6. <i>Indiccion romana i período juliano</i> . . . . .	144