

CAPITULO V

TRABAJOS ASTRONÓMICOS DE COPÉRNICO

Consecuencia del descubrimiento de América. — La prueba de la esfericidad de la Tierra. — Estudio sobre su movimiento de rotacion; incoherencias del sistema de la inmovilidad. — Estudios sobre su posicion en el sistema planetario. — Observaciones astronómicas ántes de la invencion de los anteojos.

El sacerdote de Frauenburgo, médico del alma y del cuerpo, tenia una vocacion mas notable aún, que no solo debia redundar en beneficio de sus compatriotas y contemporáneos, sino que debia utilizar toda la Europa, el mundo entero y perpetuarse hasta las edades mas remotas. Mas que médico y sacerdote, Copérnico era *astrónomo*.

Como despues escribió Galileo debia ser intérprete de la *palabra* de Dios y de sus *obras*. Debia abrir al mundo los arcanos de la realidad, desgarrar el velo que nos ocultaba los esplendores de la creacion y dar á la humanidad el conocimiento del verdadero sistema de la naturaleza sobre el cual fundaria mas tarde la filosofia del

porvenir el edificio de las puras creencias. Muchos hombres pueden prestar servicios aplicando los principios generales de la moral, muchos pueden prestarlos tambien con relacion á los intereses del cuerpo; pero pocos consagran su vida á estudiar la divina naturaleza y á inculcar la enseñanza profunda en ella contenida.

Como hemos dicho ya, la teoría mas que la práctica de la astronomía ocupó al gran reformador. Sin embargo, nadie sabia comprender la teoría en ningun ramo de los conocimientos humanos si no atiende tambien á la práctica. Preciso es ejercer el oficio durante algunos años para darse cuenta de los métodos en vigor, y para ver por los propios ojos cómo los anatomistas del cielo diseccionan el gran organismo del universo. Cuando ya se han conocido los procedimientos clásicos de la observacion, se pueden emprender las investigaciones favoritas, y entónces el hombre se encuentra mas instruido y con una fuerza personal adquirida mucho mayor que si no hubiese salido nunca de los rudimentos de la escuela. Así se forman los sabios eminentes que por sus trabajos individuales aumentan sin cesar el caudal creciente de los conocimientos humanos.

Copérnico hizo observaciones de las cuales muchas nos han sido conservadas por él mismo, en razon á que las aplicó en apoyo de sus teorías. Es uno de los mejores medios que pueden emplearse para fijar la atencion de los colegas cuando se proponen nuevos pensamientos. Nicolas Muller reunió estas observaciones al fin del libro de Copérnico en la edicion de 1617, en un postrer capítulo (pág. 471), que se intitula : *Astronomicarum observationum thesaurus*, y al frente se encuentran

observaciones análogas de los antiguos. Entre ellas se distinguen las de la oblicuidad de la eclíptica, del lugar de las estrellas fijas, del diámetro y paralaxi de la Luna, de algunos eclipses y de la posición de diversos planetas, excepto Mercurio, observado en 1491 por Bernardo Walter, discípulo de Regiomontano y en 1504 por Juan Schoner, pero que Copérnico no pudo ver por causa de las nieblas del Vístula.

Las obras teóricas de Copérnico tuvieron por objeto y por resultado el transformar el sistema de Ptolomeo sirviéndose de los mismos materiales y de las mismas fuerzas: lo que cambia son las respectivas posiciones del Sol y de la Tierra; pero los principales mecanismos, epiciclos y excéntricos se conservan, y el sistema del mundo aunque mas sencillo, no será engrandecido ni idealizado como lo está en nuestros dias. De este modo pues, Copérnico persiste al principio en la preocupacion de los antiguos sobre la forma esférica, y declara de acuerdo con ellos que la figura del mundo es esférica; la mas perfecta de todas las figuras, segun él dice, la que comprende mas cosas en un espacio determinado y al mismo tiempo la mas propia para conservarse. Es la forma de casi todas las partes figuradas de la materia; la del Sol, la Luna y todos los astros; las gotas de agua la toman naturalmente cuando se ponen en equilibrio: esa forma debe ser la de la reunion de las partes, esto es, del mundo.

Copérnico sienta por principio el que fué mas admitido en la antigüedad. Una esfera, nos dice, se mueve circularmente; expresa su forma por su propio movimiento. Este movimiento no tiene principio ni fin que pueda distinguirse y vuelve sin cesar sobre sí por revo-

luciones sucesivas. Copérnico observa que las desigualdades de los movimientos se repiten con regularidad, lo que no podría suceder, á su juicio, si los movimientos no fuesen circulares. Esas repeticiones exigen sin duda una curva cerrada donde el movimiento pudiese volver sobre sí mismo, y pasar nueva y periódicamente por las mismas circunstancias. Pero ¿por qué los antiguos tenían siempre el círculo ante los ojos? Copérnico saca en conclusion que los movimientos deben ser uniformes, puesto que no es posible concebir ninguna causa de desigualdad, sea extraña, sea inherente á esos cuerpos tan bien ordenados y regulados; de lo cual se deduce que las desigualdades deben provenir ó del movimiento en muchos círculos ó de que la Tierra ocupa el centro de ese movimiento.

« Así marchaba adelante Copérnico, dice Bailly, por medio de racionios sabios, con buena ilacion y bastante filosóficos, si se prescinde de algunas manchas procedentes del modo de las preocupaciones. » Recuerda que cuando se percibe el movimiento de los cuerpos, las apariencias son las mismas, sea que se mueva el objeto observado ó que el espectador se ponga en movimiento. Resulta pues, que si la Tierra cambia de lugar, atribuiremos nosotros este cambio á los objetos celestes. Ahora bien, se nota un movimiento que cada dia arrastra á todos los astros, excepto la Tierra, de oriente á occidente. Si trasportamos este movimiento en sentido contrario á la Tierra misma, si establecemos que la Tierra se mueve todos los dias de occidente á oriente, veremos que las apariencias son tales que deben hallarse en consonancia con esa hipótesis. El cielo es el lugar comun de todos esos astros; es mas natural hacer que

se mueva uno que diez mil ; es mas sencillo suponer á la Tierra en movimiento y al cielo en reposo.

Copérnico llegó á adivinar con sus meditaciones la gravitacion universal que debia inmortalizar á Newton y la definia de este modo : cierto deseo natural dado por el Ser supremo á todas las partes de la materia, á cuyo beneficio tienden á unirse bajo una forma completa y única y á formarse en globo. La redondez del Sol y de la Luna enseña que esa fuerza existe en ellos. Los antiguos que veian todos los cuerpos graves tender al centro de la Tierra, pensaban que esa tendencia indicaba el centro del mundo. Si la gravedad, si la pesantez existe en todos los cuerpos celestes, no hay ya razon para preferir la Tierra; ella parece ser centro de todos los movimientos; pero trasportémonos por la idea á todos esos cuerpos, áun al Sol, y creeremos siempre que nos hallamos en el centro de todos esos movimientos. No es esa pues la razon que debe decidir; es la sencillez de las causas. Esta reflexion que pertenece únicamente á Copérnico le honra sobremanera.

Siguiendo el raciocinio del célebre astrónomo, se le ve observar que la grandeza de la Tierra no es nada comparada con la del universo. Todos los grandes círculos del cielo se dividen en dos partes iguales, respecto de un ojo situado en el centro, y á poco que el ojo se desvie, la division dejará de ser igual. Ahora bien, como nosotros vemos siempre sobre el horizonte la mitad de los círculos del cielo, resulta que áun en la superficie de la Tierra los vemos como si estuviéramos en el centro : no estamos pues á distancias inmensas, y la grandeza del radio de la Tierra, aunque de 1500 leguas, es infinitamente pequeña y de todo punto insensible relativa-

mente al alejamiento de los círculos celestes. No debe sacarse de esto la conclusion de que la Tierra está en el centro del mundo, pues aquí solo se trata de apariencias; todos esos círculos son ficticios y su extension está regulada por la distancia de los astros. Del centro de cada planeta, se pueden imaginar otros semejantes para sentar por medio de idénticas razones que la extension de los globos no es nada en comparacion de los espacios del universo. Cada ojo tiene su esfera, de la cual es el centro : el verdadero centro del mundo no puede ser otro que el de los movimientos.

Todas estas reflexiones, todas estas ideas marcan los pasos sucesivos del espíritu investigador en el camino de la ciencia. Copérnico introdujo en él mas filosofía que todos sus antecesores desde Hiparco. El enlace de sus raciocinios le conducia al órden de su sistema. Estableció como esfera exterior del mundo, el cielo de las estrellas, absolutamente inmóvil. Dentro, el orbe de Saturno, luego los de Júpiter, Marte, la Tierra arrastrando á la Luna que gira en torno de ella, Vénus y Mercurio; finalmente, el Sol inmóvil en el centro. Si agregamos á esta disposicion el movimiento de la Tierra sobre su eje en 24 horas, tenemos explicados todos los fenómenos.

Nada mas sencillo que la marcha de estos raciocinios : 1º las apariencias de los movimientos celestes del Sol, la Luna y las estrellas son las mismas, que sea la Tierra la que gire de oeste á este ó que sea el cielo el que gire de este á oeste; 2º es mas sencillo atribuir el movimiento á un solo globo que á centenares y millares; 3º el volumen de la Tierra es insignificante ante las distancias celestes. Hé aquí ya un buen principio en favor de la teoría del movimiento de la Tierra.

Todos los planetas afectan la apariencia del movimiento anual de la Tierra en torno del Sol; es singular que las estrellas estén realmente fijas á nuestros ojos y no participen en nada de ese movimiento. Parécenos que al trasportarnos de un extremo de la órbita terrestre á la otra, esos objetos fijos, en virtud de nuestra traslacion, deberian cambiar de puesto á nuestros ojos. Segun Copérnico, la prodigiosa distancia de las estrellas responde á esta objecion. Para un ojo situado en una estrella, el volúmen de nuestro orbe seria absolutamente nulo, pareceria un punto; y en cuanto á nosotros, que marchamos en torno del Sol, la apariencia de ese orbe dibujado en el cielo se desvanece por su pequeñez á nuestra vista. Tal es el lenguaje de Copérnico: su sistema no era nuevo relativamente á los dos movimientos de la Tierra; pero presenta sus ideas con una seguridad que es la confianza del genio y las concibe con un vigor que demuestra que le eran propias. Las habria inventado si no se hubieran emitido ya ántes; y de todos modos toman con él un carácter original (1).

No llevaba sus cálculos hasta la minuciosidad mas extremada, como hacian algunos sabios, que contaban por minutos, segundos y terceros y se equivocaban de horas y de dias. Copérnico repetia acerca de este punto la fábula de Esopo, la historia de aquel pastor que corria detras de los pájaros y no solo no pudo alcanzarlos sino que perdió la vaca que le daba el sustento. Se hacia esta reflexion: « Si logro representar las observaciones con una diferencia de 10 minutos de arco, me regocijaré tanto como Pitágoras cuando descubrió el cuadrado de la

(1) Bailly, *Historia de la astronomia moderna*.

hipotenusa. » Sin esa licencia, dice Képler, no tendríamos la sintáxis de Ptolomeo ni el libro *De Revolutionibus*, ni las tablas pruténicas.

Ya hemos dicho que Purbach habia restablecido los cielos sólidos para señalar la marcha regular de los planetas que tienen una via trazada de la que no se apartan. Pero luego que otras observaciones mas exactas de los cometas procedentes de diversas regiones del mundo, destruyeron tan tosco sistema, preciso fué dejar errar los planetas en el espacio y no se imaginaba qué fuerza podia obligarlos á moverse con tanta constancia en muchos círculos ficticios en torno de un centro imaginario; preciso fué devorar el absurdo de dar movimiento á ese punto sin extension y despojado de toda existencia material. Copérnico no se sintió con valor para ello.

Fiel al antiguo principio pitagórico de la perfeccion inherente á los movimientos circulares, creyó todavia necesario hacer entrar en la composicion del mundo círculos *excentricos*, cuyo centro no estaba ocupado por ningun cuerpo, y algunos de los *epiciclos* de Apolonio de Perga. Por nueva que fuese la via en que se habia empeñado, no era posible desprenderse de una vez de todos los antiguos errores.

Tycho Brahe se lisonjea de haber sido el primero que mediante sus consideraciones sobre las órbitas de los planetas, pudo demostrar la imposibilidad de las esferas sólidas destruyendo así el ingenioso sistema. Llenaba de aire los espacios del cielo y pensaba que esa extension quebrantada por el movimiento de los cuerpos celestes, oponia una resistencia que daba origen á sonidos armoniosos.

Pero lo principal lo habia hecho Copérnico. Al adoptar

el movimiento de la Tierra, desaparecieron los principales epiciclos imaginados para suplir el movimiento, y se explicaron con la mayor facilidad las estaciones y retrogradaciones de los planetas, que tanto habian confundido á los antiguos. El orbe de la Tierra es interior al orbe de los tres planetas Saturno, Júpiter y Marte; y su explicacion es la misma para cada uno de estos tres planetas.

La sencillez de la explicacion es la prueba primera y principal del movimiento de la Tierra en torno del Sol. Los hombres instintivamente comprenden que la naturaleza es sencilla: las estaciones y retrogradaciones de los planetas ofrecian apariencias extrañas y no podia ménos de ser verdad el principio que las ajustaba á una marcha natural y sencilla.

Los descubrimientos modernos han añadido innumerables pruebas á esa razon de verosimilitud. El aplanamiento del globo, el encogimiento del péndulo, la velocidad de la luz y el fenómeno de la aberracion de las estrellas son otros tantos efectos de los movimientos de la Tierra. La teoría de la atraccion acabó de demostrar la necesidad del movimiento anuo. Toda vez que esta fuerza es causa del movimiento en el universo, el Sol, cuya masa es considerablemente mayor que la de todos los planetas reunidos, debe ser siempre su apoyo central y debe hacerlos mover á todos en su derredor: la misma accion debe tener sobre la Tierra que es pequeña y ligera que sobre esas pesadas masas que son los globos de Júpiter y de Saturno. Bajo este concepto, no puede existir la atraccion sin el movimiento de la Tierra; y las pruebas de esta fuerza primitiva que todo lo anima, lo son al mismo tiempo de que nuestra morada no puede

permanecer en reposo. Esta hipótesis, si es que todavía la cuadra tal nombre, constituye el principio de todo en astronomía; es el lazo de todas las verdades físicas y sin ella no habria doctrina, la luz faltaria á cada paso. Todos los conocimientos humanos de este orden nos obligan á admitirla, y como observa Lalande (*Astronomía*, art. 1099), un tratado de astronomía no es otra cosa que una serie de pruebas del movimiento de la Tierra.

Admitido ya el movimiento de la Tierra, era preciso rechazar todas las hipótesis de los antiguos, presentar un nuevo plan del universo y explicar los movimientos de los cuerpos celestes acompañándolos de pruebas irrecusables. Copérnico indicó los puestos de los planetas, explicó el movimiento de la Tierra y de la Luna y siguiendo paso á paso á Ptolomeo se propuso preparar una nueva exposicion de toda la astronomía. ¡Qué de observaciones y de cálculos tuvo que hacer para ello! En 1509 y en 1511 observó los eclipses de la Luna. En 1512, dos veces, indicó la posicion de Marte y en 1514 señaló el puesto de Saturno. En 1515 observó la posicion de la *Espiga* y el equinoccio de otoño, y el año siguiente el equinoccio de primavera. En 1518 designó de nuevo el puesto de Marte y en 1520 el de Júpiter y el de Saturno. En 1522 y 1523 observó los eclipses de Luna y el puesto de Marte y en 1525 la *Espiga* y la conjuncion de Vénus con la Luna. Se extraña que en la serie de sus observaciones no se haga mencion de Mercurio, pero Copérnico explica la omision diciendo que los vapores del Vístula le hacian invisible á sus ojos. Sobre esto aprovechaba las observaciones de Bernardo Walter hechas en 1491 y de Juan Schoner en 1504.

Una de las primeras ventajas del sistema de Copérnico fué la de medir las distancias de los planetas, pudiéndose establecer relaciones de magnitud entre sus diferentes orbes, encadenar esas relaciones por una medida comun y deducir la dimension de todo el sistema planetario y la magnitud real del universo. Ya hemos dicho que no era dable adquirir tales conocimientos sino por el movimiento de la Tierra y por sus estaciones sucesivas en un círculo del mundo. Si de un lugar cualquiera miramos un objeto lejano al traves de un campo raso, el rayo visual que se extiende de nuestro ojo al objeto no nos puede dar á conocer su distancia; no nos formaremos idea miéntras permanezcamos en el mismo lugar; mas adelantándonos á la derecha ó á la izquierda, veremos entónces la distancia del primer puesto al objeto lejano, podremos comparar esa distancia al camino que hemos recorrido al desviarnos, camino que medido por nuestros pasos nos dará la idea de la distancia que no hemos recorrido. Quanto más certera sea la mirada más exacto saldrá el cálculo. Ahora bien, una vez que las ciencias se perfeccionan y se inventan instrumentos, no se trata ya de tales cálculos, se necesitan medidas. En este caso observaremos que el objeto, visto del segundo puesto, no corresponde ya al mismo punto del horizonte. Ese cambio de lugar del objeto, que proviene únicamente de que hemos cambiado de lugar, le llamaremos paralaxi. Se puede medir con un instrumento ese cambio de lugar; la distancia del objeto se deduce fácilmente por la geometría. Así la Luna se ve en el mismo instante en diferentes puntos del cielo desde diferentes lugares de la superficie de la Tierra. Mas esa paralaxi es tanto mas

pequeña quanto mayor es la distancia del astro : á medida que el astro se aleja la Tierra disminuye para él de volúmen, y si la distancia llega á ser considerable, la Tierra podrá disminuir hasta no parecer mas que un punto. Todo el camino que nosotros podremos hacer sobre su superficie será insensible, no cambiará la direccion del rayo visual; sean cuales fueren nuestras correrías por el globo, el objeto permanecerá constantemente en el mismo lugar : es como si nosotros permaneciésemos en nuestro primer puesto, no hay paralaxi, no hay idea de la distancia. Dos mil años hace que se conoce la distancia de la Luna; pero Hiparco tuvo que detenerse despues de haberla encontrado, todos los demas planetas tenian paralaxis demasiado pequeñas para los instrumentos antiguos. Hiparco y Ptolomeo se limitaron á la conclusion de que esos planetas están muy distantes.

Suponiendo inmóvil á la Tierra, el hombre habria necesitado poder salir de ella, lanzarse en el espacio con sus instrumentos para alejarse de su morada, y adquirir por un cambio de lugar suficiente, por una paralaxi bastante grande la exacta nocion de la distancia que le negaba el reposo de nuestro mundo. Tal fué precisamente la grande obra de Copérnico, el servicio que prestó al espíritu humano y á las ciencias. Restituyendo á la Tierra el movimiento que ha recibido del Autor de la naturaleza, el hombre se encuentra trasportado con ella, puede juzgar de la extension del mundo por su viaje anual. No son ya pequeños intervalos como los que recorre sobre un globo de diez mil leguas de circunferencia, sino que sigue una circunferencia cuyo diámetro lo componen 74 millones de leguas. Tal es la base de

una gran paralaxi; y en ese largo camino se tienen estas de sobra para echar medidas. A cada paso que da la Tierra en su órbita, ese movimiento muda la apariencia del lugar de los planetas en el cielo, y los movimientos acumulados forman cambios sensibles. Conociendo bien el movimiento propio del planeta, estableciendo bien á cada instante el lugar desde donde puede verse el Sol, y comparando ese lugar con el lugar observado de la Tierra, se obtiene la diferencia, la alteracion que resulta de la marcha de nuestro globo. Es una verdadera paralaxi que llamamos del gran orbe, del orbe anual, paralaxi tanto más pequeña cuanto más distante está el planeta, aunque la menor es de muchos grados. De aquí deduce Copérnico la relacion de la distancia de cada planeta al radio de la órbita terrestre, esto es, al intervalo que media entre la Tierra y el Sol. Es el módulo de las distancias de todos los planetas. Obtuvo, pues, las relaciones de estas distancias y una escala de magnitud, desde el codo, la toesa y la legua hasta el radio del globo; desde este radio del globo hasta el radio de la órbita anual; y, finalmente, desde el radio de esta órbita hasta las distancias de los demas planetas que componen nuestro sistema solar. La astronomía dirigida por Copérnico abrazaba al universo por la sucesion de sus medidas. No quedaban porciones sueltas como en la hipótesis de Ptolomeo, y su union era un carácter de verdad. No todas estas relaciones pudieron ser determinadas con precision por Copérnico; pero él demostró que estaban encadenadas, que muchas dependian de una sola y dirigió así el trabajo y los esfuerzos de sus sucesores.

Vemos, pues, que Copérnico, por una serie de racionios filosóficos consiguió demostrar que no es nece-

sario situar á la Tierra en el centro del mundo, apoyándose para ello sobre todo en la observacion de que los efectos son los mismos sea que la Tierra se mueva, sea que los astros se muevan en su derredor y que la eleccion debe determinarse por la sencillez de las causas.

Dudaba con razon que esta adopcion pudiese generalizarse; se necesitó tiempo, y hubo astrónomos célebres como Tycho que rechazaron su opinion. Copérnico hubo de comprender que el testimonio de los sentidos estaba contra ella: la idea mas natural es que la verdad debe ajustarse á su relacion. Se sigue ese plan para hacer observaciones; se parte de ese principio para explicarlo todo, y se acumulan las explicaciones á medida que se multiplican los fenómenos y hasta que saltan á la vista los absurdos. Entónces un hombre de genio luminoso como el de Copérnico, se atreve á protestar contra la opinion general y lucha con su siglo ántes de arrastrarlo. Pero todos estos preliminares fueron necesarios: el sistema mas natural en apariencia debió preceder al que era mas verdadero, y trascurrieron siglos mientras se hacian unas y otras pruebas.

Las ideas de Copérnico se difundieron despues de su muerte; pero no se adoptaron generalmente, sino que hubo largas resistencias á la innovacion. El mas ardiente de sus discípulos fué Rético, profesor de matemáticas en Wittemberg, que movido por la reputacion de Copérnico, dejó su cátedra y se fué á Polonia á instruirse con sus lecciones. Rético le ayudó en la composicion de sus tablas y á él se atribuye la introduccion de las secantes en el cálculo astronómico. Regiomontano habia introducido ya el de las tangentes.

Rético nacido en 1514 murió en 1576.

Sentado el principio de que todos los planetas se movían en círculo, según la preocupación de la antigüedad, Copérnico tenía que explicar sus desigualdades, y para esto apeló á las mismas hipótesis que Ptolomeo, hizo ver que la desigualdad del Sol podia representarse por un excéntrico ó un epiciclo.

En cuanto á la Luna adoptó el primer epiciclo de Ptolomeo, dando su vuelta en el tiempo de una revolucion de la Luna á lo largo del Zodiaco; pero añadió otro que llevando al astro, rodaba sobre la circunferencia del primero. Estos tres movimientos del centro del primer epiciclo sobre el deferente, del centro del segundo sobre la circunferencia del primero y del planeta en la circunferencia del segundo, giraban en círculos y siempre uniformes respecto de su centró. Así se conservaban, al parecer, las leyes de la naturaleza. Consideró que la distancia media de la Luna á la Tierra era de $60 \frac{1}{2}$ de aquellos semi-diámetros (1), y que el radio del mayor de los epiciclos contenía $5 \frac{1}{6}$.

Copérnico buscó la distancia del Sol por el método de Ptolomeo deducida de la medida de los eclipses, y resultó de 1179 semi-diámetros terrestres. Ptolomeo habia hallado 1210 y Albatenio 1146; Tycho halló despues 1182. Muller admira este acuerdo en una cosa tan difícil; pero cuando se usa el mismo método, sin que las observaciones sean mucho mas precisas, hay concordancia en el error como en la verdad (2).

(1) Es con poca diferencia la distancia determinada por las medidas modernas, que se ha fijado en 60,27 semi-diámetros de la Tierra.

(2) Según las medidas modernas, la distancia del Sol es de 23.150 semi-diámetros terrestres, esto es, 148 millones de kilómetros.

Copérnico calculó tambien los diámetros aparentes del Sol y de la Luna y no consiguió tampoco una medida mas precisa que las que estaban adoptadas en su tiempo. A propósito de los eclipses buscó por otra parte cuál es la longitud del cono de sombra que forma la Tierra detras de ella, y halló 265 semi-diámetros terrestres, siendo la relacion del diámetro de esta sombra al de la Luna como 403 á 150. Todas estas determinaciones se aproximan mucho á las de Ptolomeo. Copérnico apenas hizo progresar á la astronomía mas que por el sistema que renovó; pero es verdad que el tal sistema debia renovar la faz de la ciencia.

Muller añade que Tycho fué el primero que demostró que el diámetro de la Luna nueva parece mas pequeño que el de la Luna llena por causa de la irradiacion; y fijó el primero en $28' 45''$ y el segundo en $36'$ cuando la Luna está tambien en su perigeo. El diámetro del Sol, según él decia, solo se aumentaba en $3'$, y aún añadía que el Sol no puede quedar enteramente ocultado por la Luna. ¿Cómo podia ignorar la existencia de los eclipses totales de Sol? Estos hechos nos demuestran que la observacion de los diámetros era entónces demasiado incierta para merecer confianza. Dice Képler que el 22 de febrero de 1591, se midió veinte y dos veces consecutivas el diámetro de la Luna: dos veces resultaron $31'$; seis veces $32'$; siete veces $33'$, seis veces $34'$, y una vez $36'$. ¿Qué cálculos se podian basar en medidas que variaban de $5'$?

En cuanto á los movimientos de los planetas, Copérnico suprime la primera desigualdad debida á la traslacion de la Tierra; pero no puede aún suprimir la segunda debida al movimiento propio de los planetas. Ptolomeo empleó un epiciclo para que hiciera las veces del movi-

miento de la Tierra y una excentricidad para representar la desigualdad propia del planeta. Copérnico se apodera de esta excentricidad, ó mejor dicho, los $\frac{3}{4}$ de ella, para atribuírsela á su excéntrico, y establece un epiciclo que tiene por diámetro el otro cuarto de aquella excentricidad. Resulta, pues, mucha complicacion de medios, con lo cual no se acercaba la astronomía á la sencillez deseada por todos. Copérnico propuso otra explicacion, y fué la que habia empleado para la Luna, de un epiciclo rodando sobre otro epiciclo y llevado sobre un deferente. No empleó epiciclo para Vénus; pero hizo mover el centro de la órbita de Vénus en un pequeño círculo parecido al que ya habia empleado Ptolomeo en igual circunstancia. Es de creer que aquellos dos artificios podian tener cuenta de la excentricidad de Vénus y de la de la Tierra, cuyos efectos se complican en las apariencias. La excentricidad de Ptolomeo adoptada y el epiciclo establecido del cuarto de aquella excentricidad, tenian el mismo objeto. Así pues, Copérnico que se proponia despojar á las apariencias del movimiento de los planetas de todo lo relativo al movimiento de la Tierra, fallaba el golpe por su respeto á la antigua preocupacion de los movimientos circulares: queria que la Tierra girase siguiendo un círculo; pero lo que sigue es un óvalo, una elipse y este hecho hace variar todas las distancias.

No es menor la complicacion para explicar la variacion de latitud de los planetas: atribuye el balanceamiento á tres causas que son: el cambio de posicion del planeta en su orbe inclinado á la eclíptica, por el cual se aleja más ó menos de ese círculo; la distancia de la Tierra al planeta, que siendo más ó menos grande, por causa del movimiento propio de nuestro globo, hace parecer la lati-

tud bajo un ángulo más ó menos grande. Hasta aquí todo iba bien; pero luego admite una variacion en cuya virtud la inclinacion se aumenta ó disminuye y que se ejecuta en círculos pequeños, etc., etc. La astronomía debia esperar un siglo largo ántes que Képler la desembarazase de esas complicaciones. Por lo demas, es de advertir que Copérnico no hizo la multitud de observaciones correspondientes á todas sus teorías; sino que se valió de las que estaban hechas, y principalmente de las de Ptolomeo. Propúsose representar todos los movimientos resultantes por hipótesis mas sencillas y mejor fundadas, y aunque los modernos hayan progresado en la simplificacion de las explicaciones, no puede uno menos de admirar la superioridad con que salió adelante en su idea. Tuvo valor para intentar la reforma, ejecutó una parte de ella y su nombre vivirá tanto como la astronomía (1).

No estando inventados aún en tiempo de Copérnico los instrumentos de óptica, es curioso indagar qué aparatos le sirvieron para hacer sus observaciones. Consistian en varillas de madera movibles en torno de una bisagra sujeta á un tronco principal, y que podian apuntarse á un astro cualquiera. Estos aparatos tan sencillos servian para medir la distancia de un astro al zenit, su altura sobre el horizonte, el ángulo que formaba con el meridiano del lugar, etc. Una regla graduada media lo que podriamos llamar la abertura del compas. La circunferencia del círculo estaba ya dividida en 360 partes llamadas grados. El intervalo de un grado no era bastante grande sobre aquellas reglas de madera para que se dividiera en 60 partes; y generalmente se dividia

(1) Bailly, *Historia de la astronomia moderna*

en 12 representando cada una cinco minutos. Para apreciar las fracciones de estas partes Tycho, Nonio y Vernier imaginaron despues marcar divisiones suplementarias al borde de la regla ó del círculo ó en otro instrumento, divisiones en cuya virtud llevaron la exactitud hasta los minutos de arco y mas todavía.

Entre los diversos aparatos inventados para medir ángulos y posiciones astronómicas, el mas célebre era el astrolabio, construido por Hiparco en el primer siglo ántes de nuestra era y por el cual se podian determinar directamente las longitudes y latitudes de los astros.

Copérnico, como los demas astrónomos de su tiempo, construyó para su uso un cuarto de círculo, una regla paraláctica y los diversos instrumentos de madera cuyos principios y construccion habia enseñado Ptolomeo. El astrónomo de Alejandría daba todavía la ley al cabo de catorce siglos. Los primeros telescopios se construyeron en 1608 por un fabricante de anteojos de Middelburgo llamado Juan Lippershey y en 1609 en Italia por Galileo que fijó su atencion en el asunto gracias á la fama que habia obtenido el descubrimiento holandés. Fué el primero que aplicó la óptica á la astronomía y al instante descubrió las manchas de la Luna, las del Sol que demostraban su rotacion y los cuatro satélites de Júpiter. Sin embargo, los astrónomos de la época no aprovecharon la invencion y muchos de ellos murieron sin haber querido probar aquellos anteojos, persuadidos como lo estaban de que eran mas perjudiciales que útiles para determinar la posicion exacta de las estrellas.

Tycho-Brahe nos ha dejado la descripcion del instrumento paraláctico que se construyó Copérnico para hacer sus observaciones, y Muller ha dado el dibujo en su

adicion de la obra de Copérnico. Era un instrumento sencillísimo compuesto de tres piezas de madera : un montante vertical puesto sobre un pié, y un brazo movable en torno de lo alto del montante con dos piececillas de madera agujereadas; el brazo se desliza por su extremo libre á lo largo de una regla tambien movable sujeta con una bisagra en el bajo del montante y mide la abertura de ángulo de esa especie de compas. La regla se divide en 1414 partes y el brazo en 1000. Las divisiones están hechas con tinta.

Hé ahí el único instrumento de que disponia el restaurador de la astronomía moderna. Desde luego se notan sus muchos inconvenientes. Las aberturas no son bastantes finas, las divisiones hechas á la mano carecen de precision matemática, y por eso el instrumento paraláctico no tiene valor alguno y no está en uso. Sin embargo, Tycho-Brahe se extasió de gozo cuando se lo envió como un gran regalo Juan Hanovio, obispo de Warmie; lo puso en su observatorio y lo conservó como una preciosidad. El recuerdo de Copérnico le exalta; el astrónomo se hace poeta y escribe esta improvisacion entusiasta, de la que hemos hablado ya, y cuyo principal ditirambo es el siguiente :

« No produce la tierra un hombre semejante en el espacio de muchos siglos. Pudo detener al Sol en su carrera en torno de los cielos y hacer que circulara la Tierra inmóvil; hizo que en su derredor girase la Luna y trasformó el aspecto del universo. Todo eso hizo Copérnico con cuatro palillos ligados entre sí fácilmente. Dió leyes á todo el Olimpo. Sometió las altas estrellas á esos viles palillos y penetrando en el interior de las bóvedas celestes ejecutó lo que á ningun mortal le fuera

permitido desde el principio del mundo. ¿Hay algo superior al genio? Antiguamente los gigantes queriendo escalar los cielos, pusieron montes unos sobre otros, Pelion, Osa, el Etna, etc., y sin embargo, poderosos por la fuerza, débiles por el entendimiento, no lograron penetrar en las esferas celestes. Pero él, confiado en la fuerza del genio, débil de cuerpo, con sus miserables palillos, llegó á las alturas del Olimpo. Los recuerdos y vestigios de un hombre como ese son inapreciables, áun cuando sean de madera. El oro envidiaría su valor, si el oro pudiese apreciarlos. »

Tycho-Brahe compuso estos versos que acabamos de traducir en humilde prosa, el mismo dia que recibió el instrumento de Copérnico y los puso en un marco y los colgó al lado de aquella preciosa memoria.

Sabemos, pues, que en tiempo de Copérnico no existian aún los telescopios, y que usaban instrumentos de cobre ó de madera para medir los ángulos entre dos astros y fijar sus respectivas posiciones. El primer anteojo de aproximacion se construyó en 1608, siete años despues de la muerte del gran observador Tycho-Brahe; y muchas conquistas debidas al invento precedieron á la aplicacion que por fin se hizo á los instrumentos de medicion. Ya habian descubierto sucesivamente los satélites de Júpiter, las manchas del Sol, las fases de Vénus, lo que se llamaba entónces la triplicidad de Saturno, las aglomeraciones telescópicas de las estrellas y la nebulosa de Andrómeda, cuando el astrónomo frances Morin célebre por sus estudios sobre el problema de las longitudes, tuvo la idea de fijar un anteojo á la alidada de un instrumento de medir ángulos para observar á Arturo en medio del dia.

Picard no empleó el anteojo en 1657 para su cuarto de círculo y Hevelio, cuando Halley le visitó en 1679 para comprobar la exactitud de sus medidas de altura, observaba con dilatadores ó pínulas perfeccionadas.

Huygens, que nació veinte y cinco años despues de la época en que, segun se cree generalmente, se inventaron los telescopios, no se atreve á pronunciarse sobre el nombre del primer inventor. De las investigaciones hechas en los archivos por Swinden y Moll, resulta que Lippershey no era el único que el 2 de octubre de 1608 tenia telescopios fabricados por él. El enviado frances presidente Jeannin, escribia con fecha de 28 de diciembre, á Sully « que estaba en tratos con el fabricante de anteojos de Middelburgo para comprar un telescopio que destinaba al rey Enrique IV. » Simon Mario (Mayer de Gunzenhausen), que tuvo tambien su parte en el descubrimiento de los satélites de Júpiter, refiere que en Francfort del Mein, en el otoño de 1608, un belga ofreció un telescopio á su amigo Fuchs, de Bemblach, consejero privado del margrave de Anspach. En Lóndres fabricaban telescopios en febrero de 1610, por consiguiente un año despues que Galileo habia comprado el suyo. En su principio se llamaron *cilindros*. Porta, inventor de la *cámara oscura*, habló, como ántes habian hablado Fracastor, contemporáneo de Colon, Copérnico y Cardan, de la posibilidad de aumentar y acercar los objetos mediante unos vidrios convexos y cóncavos sobrepuestos: *Duo specilla ocularia alterum alteri superposita*; mas no se les puede atribuir el descubrimiento del telescopio (1).

(1) En la vida de Fracastor se encuentra un hecho muy notable relativamente á la invencion del telescopio. En su teoría de la visibi-

Las gafas se conocieron en Harlem á principios del siglo xiv, y una inscripcion existente en la iglesia de Santa María la Mayor de Florencia, designa como su inventor á Salvino degli Armati, que falleció en 1317. Además se tienen noticias con visos de certeza de que en los años de 1299 y 1305 habia ancianos que usaban antiparras. Bacon habla de la fuerza amplificante de los segmentos tallados en globos de vidrio.

Los largos tubos que quizas se emplearon para los antiguos dilatadores, ó las rendijas de sus alidadas, pudieron hasta cierto punto mejorar las observaciones ántes que se inventaran los anteojos de aproximacion. Abul Hasan habla en términos precisos de unos tubos á cuya extremidad se fijaban los dilatadores oculares y objetivos, y tambien se sabe que en Meragha, donde

lidad de los planetas, explica sus variaciones de brillo diciendo que las imágenes se hacen mas grandes pasando por un medio mas denso. Es curiosa esta explicacion. Se conocian hacia dos siglos los anteojos comunes que sirven á los cortos de vista. Cuando Fracastor quiere probar que la densidad de un medio trasparente agranda los objetos que se ven por él, observa que el aumento es proporcionado al grueso del medio; mirando objetos iguales dentro del agua, los del fondo parecen mayores que los de la superficie, y Fracastor añade que si se ponen dos vidrios de antejo uno sobre otro, se verán los objetos mas abultados que con uno solo. Aquí Fracastor casi tocaba á la teoría de los telescopios, pues no le faltaba mas que separar los dos vidrios; pero aún debia pasar un siglo ántes del invento. ¿Cómo fué que no se le ocurrió esa idea? Lo ignoramos; el paso parece fácil de dar pero no dependió del acaso. El acaso no crea nada: hace caer una fruta que está madura y eso es todo. Tal idea, tal descubrimiento, que creemos espontáneo, tiene en lo pasado mil raíces. Las ideas que no están á punto, deben esperar su estacion, como gérmenes sembrados juntos en la misma tierra y que no se desenvuelven sino sucesivamente y á beneficio de diversas influencias.

Houlagon fundó un observatorio, se hacia uso del tal instrumento (1).

Esos tubos suprimen una gran parte de la luz emanada de las capas atmosféricas que se encuentran entre la vista y el astro observado; y aún durante la noche protegen el ojo contra la impresion lateral que producen las partículas de aire débilmente alumbradas por el conjunto de los astros del firmamento.

Así sucede que la intensidad de la imagen luminosa y las dimensiones aparentes de la estrella se agrandan entónces sensiblemente. En un pasaje muy corregido y contestado, en que habla Strabon de la vision por los tubos, se trata de « la figura amplificada de los astros. » Creemos que sin fundamento se ha visto en estas palabras una alusion cualquiera á los efectos de los instrumentos de refraccion.

Hé aquí, segun los manuscritos, el párrafo en que Strabon combate el parecer de Posidonio: « La imagen del Sol parece mayor sobre el mar en su aurora como en su ocaso, porque los vapores suben en mayor cantidad del elemento húmedo; pues el ojo que mira al traves de los vapores recibe, *como cuando mira al traves de un tubo*, rayos interrumpidos que hacen una imagen de forma mas grande; y lo mismo sucede cuando distingue al traves de una nube seca y delgada al Sol ó á la Luna en su ocaso; en esta última posicion el astro parece tambien rojizo. » En tiempos recientes se ha creido que este párrafo habia sido alterado y que en vez de *δι' ἀέλων* se debia leer *δι' ὑδάτων*, *al traves de globos* de vidrio. La potencia amplificante del globo de vidrio era tan bien

(1) Humboldt, *Cosmos*, tomo II.

conocida de los antiguos como los efectos de los vidrios ó de los cristales ardientes y de la esmeralda de Neron; pero aquellos globos para nada podian servir á los instrumentos astronómicos.

Lo cierto es que no se inventaron los telescopios hasta 65 años despues de Copérnico, y que los progresos del espíritu humano en un ramo especial de la fisica, produjeron sucesivamente la construccion de estos admirables instrumentos que tan magníficamente han confirmado y desenvuelto el diseño del sistema del mundo trazado por el genio del astrónomo polaco.

CAPITULO VI

PUBLICACION DE LA OBRA DE COPÉRNICO

Lentitud y profundidad de las tareas de Copérnico. — Su indiferencia por la gloria. — Sus vacilaciones. — Por fin se decide á publicar su obra y la dedica al papa.

El laborioso astrónomo habia comenzado en 1507 á formular en cuerpo de doctrina el resultado de sus meditaciones y á escribir una obra que contenia sus cálculos, observaciones, tablas, argumentos y conclusiones. Sin ambiciones de novedad literaria, trabajaba lentamente, modificaba, continuaba, corregia, á medida que otras consideraciones ú observaciones suministraban una nueva piedra, ó un nuevo cimiento al proyectado edificio. De año en año el monumento científico se elaboró, se formó y completó, quedando terminado, segun parece, en 1514. Conservó á la mano el manuscrito para seguir retocando de tiempo en tiempo y sin sentir ningun deseo de imprimirlo para los demas astrónomos y ménos aún para el público.