

miento y estudio detenido del terreno, cruzando en cualquiera de estos dos últimos puntos la de segundo orden de la Coruña á Corcubion, se dirige á terminar en el puerto de Camariñas. Por las mismas razones que en la anterior, esta carretera, cuya longitud aproximada será de 54 kilómetros, es tambien de interés.

CARRETERA DE NOYA A SON.

Sale de Noya y siguiendo por un lado de la ria termina en el puerto del Son de la misma, con una longitud de 14 kilómetros próximamente. Esta carretera es de interés, pero lo tendria aun mayor si se continuase por la costa y San Pedro de Muro hasta Santa Eugenia, en una distancia de unos 25 kilómetros, en la que los Ayuntamientos de este último punto y del Son han ejecutado en sus respectivos distritos obras de consideracion que se podrian utilizar. De este modo se tendria una carretera continuada por la costa desde Santiago por Noya, Son, Santa Eugenia, La Puebla, Padron, Puente Ulla, Arzua á Boimorto.

(Se continuará.)

DISCURSO

DEL SEÑOR

DON CARLOS IBAÑEZ É IBAÑEZ,

SOBRE

EL ORIGEN Y PROGRESOS DE LOS
INSTRUMENTOS DE
ASTRONOMÍA Y GEODESIA, EN LA REAL ACADEMIA
DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS
Y NATURALES.

SEÑORES: No extrañéis que la emoción embargue la voz de quien por primera vez se presenta ante un concurso tan respetable, con el espíritu agitado por diversas sensaciones. La gratitud por la honra que dispensáis a mi escaso merecimiento; el recuerdo del sabio a quien sustituyo; lo elevado de vuestras tareas; un sentimiento de fundado recelo; todo se agolpa á confundirme, si no contase con que siempre andan unidas la sabiduría y la indulgencia, viéndolas personificadas en el venerable General, bajo cuya paternal direccion di, como militar, los primeros pasos en mi carrera.

Al cumplir hoy un precepto de los estatutos, intento únicamente presentaros una débil muestra de la voluntad con que me asocio á vuestros trabajos, impulsados con tanto empeño por el Ilmo. Sr. Don Gerónimo del Campo, cuya vacante me habeis llamado á ocupar. Este sabio Ingeniero, lumbrera del cuerpo de Caminos, alcanzó desde

muy joven la rara distincion de ser elegido para la enseñanza de los ramos mas importantes de las matemáticas, á cuya difícil tarea se consagró durante el largo espacio de veinte años. Con su vasto saber é incansable laboriosidad conquistó, como en esta Academia, un puesto de distincion en otras asambleas científicas y literarias, siendo una de aquellas la Comision encargada de ejecutar los trabajos geodésicos del mapa de nuestro país, á la que perteneció como vocal de su Junta consultiva. Lícito me será, puesto que tengo la honra de contarle entre los individuos que formaron esta Comision desde su origen, rendir público y merecido testimonio de respetuoso dolor á tan esclarecido matemático, uniendo mis pobres alabanzas á las que unánimes resuenan en cuantas Corporaciones tuvieron la fortuna de apreciar sus talentos.

La memoria de mi antecesor acrece aun mas la desconfianza con que vengo á sentarme entre vosotros, acunando antes vuestra atencion por cortos instantes en acatamiento á la costumbre establecida. Indeciso anduve en la eleccion del tema: me los ofrecia fecundos la variedad de mi servicio como Ingeniero militar; pero dedicado exclusivamente en los últimos años al estudio y practica de la geodesia y de las ciencias que con ella se entrelazan, encuentro en su dilatado campo mayor facilidad, ya que no mejores condiciones de acierto. Voy pues á recordarlos, en brevisima reseña, el origen y progresos de los principales instrumentos de astronomia y geodesia, así como la influencia que han tenido en los adelantos de ambas ciencias. Y para evitar lo que en mi pudiera haber de atrevimiento, internandome en los dominios de la astronomia, me ceñiré estrictamente á considerarla bajo el punto de vista practico y en sus relaciones con la geodesia, sin otro objeto que el de coordinar estos desaliñados apuntes.

Pasada la época de la astronomia puramente contemplativa, cuando el hombre se contentaba con admirar la magnificencia de la bóveda celeste, y deducir algunas consecuencias de la repetición de los fenómenos que se presentaban á su vista; trascurrido igualmente el grande intervalo de tiempo en que los acontecimientos notables se referian á día determinado con arreglo á períodos mas ó menos inexactos, comienza la observacion de los astros con el auxilio de los primeros instrumentos destinados á la medicion del espacio y el tiempo.

Desde la mas remota antigüedad era ya conocido el gnomon, que en su primitiva sencillez puede considerarse mas bien como tomado de la naturaleza misma que como una verdadera invencion del hombre. Trasladándonos rapidamente á tiempos menos ignotos, y deteniendo nuestra vista en las vastas comarcas del Asia, favorecidas por un cielo siempre despejado, veremos al pueblo caldeo, asiduo observador de los fenómenos celestes, dividir el zodiaco en doce signos, empleando las observaciones de ortos y ocasos del sol, y midiendo el tiempo con clepsidras ó relojes de agua, al paso que el gnomon y el hemisferio hueco proporcionaban, consultados en dilatada serie de observaciones, el conocimiento de la duracion del año, que ya otros pueblos mas antiguos habian empezado á determinar.

Todas estas tentativas, dirigidas por el sentimiento investigador de los caldeos, no llegaron á constituir una ciencia, y es preciso recurrir á Grecia para encontrar la cuna de la verdadera astronomia, fundada en teorías que entrelazan entre si los diferentes hechos observados aisladamente, los esplican, proporcionan los medios de calcular su reaparicion y de conocer las dimensiones, las distancias y los movimientos de los cuerpos celestes. La celebre escuela de Alejandria nos ha legado, desde tres siglos antes de la era cristiana; algunas declinaciones de estrellas, observadas por Aristillo y Timocaris con las armillas solsticiales, instrumentos que Eratóstenes popularizó, estableciéndolos con las cenoriales en el pórtico de Alejandria, donde sirvieron para determinar la oblicuidad de la eclíptica; habiendo contribuido en gran manera al adelantamiento de la astronomia. La geodesia debe igualmente al mismo instrumento la conocida determinacion de la magnitud del grado terrestre por Eratóstenes; con el observó la distancia solsticial en Alejandria, que le sirvió para deducir la amplitud del arco celeste comprendido entre esta capital y Siene; y es muy notable que el astrónomo griego, aunque llegó á un resultado erróneo, debido á los elementos inexactos que introdujo en su calculo, partió del mismo principio que los modernos, armados de poderosos y delicados instrumentos, han aplicado diez y nueve siglos despues para conocer las dimensiones de nuestro planeta.

El nombre de Arquimedes, inseparable de las primeras conquistas de la geometria y de la mecanica, se ve igualmente asociado al de los mas distinguidos astrónomos de su época, habiendo determinado el diametro del Sol por medio de su ocultacion con un cilindro que se movia á lo largo de una regla, y averiguando despues graficamente el ángulo subtendido; procedimiento que manifiesta el estado á que se hallaba reducida la astronomia practica, por carecer de instrumentos adecuados y de métodos trigonométricos para someter al calculo los resultados obtenidos.

El genio de Hiparco vino en ayuda de la ciencia astronómica, imprimiéndole con sus descubrimientos nuevo impulso, y elevándola á la mayor altura que en la antigüedad pudo alcanzar. Su primer cuidado fue repetir las observaciones hechas anteriormente, perfeccionando los instrumentos con la introduccion de las alidadas y pinulas que, permitiendo dirigir la visual con mas exactitud, minoraron considerablemente los errores de punteria. Así determinó de nuevo el diametro del Sol, valiéndose de su dioptra que le sirvió despues para interesantes trabajos. La observacion asidua de la Luna le hizo facilmente advertir la desigualdad de su distancia á las estrellas, segun la altura de aquella sobre el horizonte, lo que le condujo al importante descubrimiento de la paralaje, y al método de medir la distancia de los planetas á la tierra. Durante algunos años se valió el sabio astrónomo de las armillas ecuatoriales para observar la ascension recta y declinacion de los astros, coordenadas que transformaba en longitud y latitud por los métodos que inventó en aquella época, y que forman la base de la moderna trigonometria esférica; pero desconfiando llegar al mismo resultado sin pasar por los penosos calculos que exigia la transformacion, imaginó el astrolabio armilar, que le proporcionaba directamente los elementos con que formó el catalogo de 1.080 estre-

has, el primero que con tal nombre merece citarse. Comparando las posiciones así determinadas con las que se deducen de las observaciones de Timocaris, reconoció 120 años antes de nuestra era la precesión de los equinoccios, descubrimiento que por sí solo bastaría para inmortalizar su nombre.

Cerca de tres siglos trascurren sin que la astronomía experimente el mas leve progreso, hasta que Ptolomeo, utilizando los trabajos de Hiparco, y verificando por sí mismo algunas observaciones, compone sus célebres obras, depósito precioso de la sabiduría astronómica de la antigua Grecia. El cuadrante de círculo y las reglas paralelas que median la cuerda de la distancia zenital del astro, fueron los instrumentos que con el astrolabio armilar de Hiparco sirvieron a Ptolomeo para sus observaciones, coronadas con el importante descubrimiento de la refracción astronómica, cuya teoría física espone en uno de sus últimos escritos. Con la invención de su planisferio nace el nuevo astrolabio portátil, instrumento que, modificando sucesivamente con el uso de distintas proyecciones, ha prestado grandes servicios a la astronomía, a la geodesia y muy particularmente a la navegación.

Para seguir los progresos mas notables de la astronomía práctica, forzoso nos será, salvando una laguna de siete centurias, durante las cuales el estruendo de los combates absorbía con sobrada frecuencia la atención de los hombres, volver de nuevo la vista hacia las comarcas bañadas por el Eufrates, cerca de la antigua Babilonia, donde los arábes, alccionados por los escritos de los griegos, se dedicaban con ardor al estudio de la sublime ciencia de los astros. Iniciados en las antiguas teorías, multitud de observadores, protegidos por ilustrados principes, se ocupaban en preparar cuadrantes de círculo y sextantes de extraordinarias dimensiones, dirigiendo su construcción y la división de sus limbos que superó bien pronto en exactitud a la de los griegos. También dedicaron su actividad e inteligencia al trazado de las proyecciones de la esfera aplicadas a los astrolabios portátiles para determinadas latitudes, de los cuales se conservan algunos muy notables, construidos en España, que dan idea del estado en que se hallaban entre nosotros las artes hace 800 años (1). La medición del tiempo, objeto de los trabajos del griego Aristilio, que llegó a perfeccionar notablemente las clepsidras, haciendo aplicación de los adelantamientos que la mecánica debió a la escuela de Alejandria, fué considerada con grande interés por los arábes que, adoptando el método de calcular el viento verdadero por el ángulo horario, observaban la altura de un astro en el momento de presentarse el fenómeno que deseaban estudiar. Alkoresmi, reemplazando las cuerdas con los senos; el célebre Albatenio observando la oblicuidad de la eclíptica, los equinoccios y el cambio del perigeo solar; el astrónomo Elm-Junt, corrigiendo las tablas griegas con sus observaciones de eclipses y de conjunciones de planetas y estrellas, e imaginando la sustitución del gnomon ordinario con el de taladro; el sabio Azarquiel, que a fines del siglo XI inventaba en Toledo su *acafela* ó astrolabio universal, fundado en una nueva proyección de los círculos de la esfera; el matemático Geber, que proyectaba poco después en Sevilla un complicado instrumento armilar, conocido con el nombre de *machina collectitia*; el ilustre Athazen, cuya óptica trata ya estensamente de los efectos de la refracción; y tantos otros arábes distinguidos, conservaron los conocimientos astronómicos de los griegos, transmitiéndolos a Europa enriquecidos con abundantes observaciones, cuya precisión era superior a la que alcanzaron en la antigüedad.

El precioso tesoro de conocimientos científicos acumulados por los arábes, fué acrecentado considerablemente por los españoles en el memorable reinado del sabio D. Alfonso de Castilla, que llegó a ser aurora del nuevo día, a la que debían seguir los vivísimos resplandores del astro de la ciencia, como la astronomía de los griegos fué, al decir de un escritor moderno, crepusculo de la tarde que precedió a una noche de muchos siglos. Entre los importantes trabajos de la Academia toledana presidida por el mismo príncipe, y a la par de sus célebres tablas astronómicas, descuella el notabilísimo código *Del saber de astronomia*, que ha sido objeto de las tareas de esta Corporación, y que publicado por el Gobierno de S. M. sacará del olvido los esfuerzos de nuestros antepasados para el adelantamiento de la ciencia, y lo que esta debe a los sabios toledanos del siglo XIII. Lejos de contentarse con practicar la astronomía en el estado en que la hallaban, y deseando ante todo difundir la instrucción, legando a las edades futuras el fruto de sus vigilias y de su ingenio, comienzan por verter al romance vulgar, *«faciendo libros que non moriessen con ellos»*, los tratados mas notables de los arábes, dándoles la forma que reclamaban los progresos posteriores a su composición, ó corrigiendo y completando con nuevos instrumentos y mas hábiles prácticas lo que hallaban erróneo, incompleto u oscuro. D. Alfonso, que se distinguía por la gala de la expresión y elegancia del lenguaje, compuso al parecer los prólogos de sus libros de astronomía y corrigió los escritos de sus sabios colaboradores, esponiendo con aquella claridad propia de la verdadera ciencia, los principios fundamentales que mandaba desarrollar a cada uno de los astrónomos de su Corte. De las diez y seis partes en que se divide el código, solo la primera y novena son en cierta manera ajenas a los aparatos astronómicos, explicándose en las demas el tratado de la esfera ó *alcara* de los arábes, su combinación con los círculos principales para la observación, el astrolabio *redondo*, el *lano*, la *lámina universal*, la *acafela* de Azarquiel, las diferentes *armellas*, el cuadrante vertical, y cuantas observaciones astronómicas se pueden ejecutar con tales instrumentos, dando reglas claras y precisas para su construcción y manejo. Otros libros se hallan exclusivamente consagrados a la medición del tiempo, con aplicación a la astronomía, y entre los relojes solares, clepsidras perfeccionadas y aparatos mas ó menos ingeniosos, que recibían los nombres de *relojo de la piedra* de la *sombra*, *relojo dell agua* y *relojo de la candela*, se halla la descripción del *relojo*

dell argent uiuo, que presentando la idea del *bolante*, y una especie de escape que ha podido ser origen de los modernos, es importantísimo bajo el punto de vista histórico. Fundándose tan solo en una inscripción sepulcral que atribuya a Pacífico, Arcipreste de Verona, la construcción de un *reloj nocturno*, han supuesto algunos autores que este eclesiástico del siglo IX habia inventado el reloj de máquina movido por un peso; pero entre otros escritores, Falconnet, ha hecho notar que el adjetivo *nocturno*, aplicado ya por Casiodoro a las clepsidras, no podia dar lugar a tal deducción; que nadie completamente desconocido el inventor del reloj dinámico, así como el primer constructor del escape, mecanismo ingenioso que puede considerarse como base de la moderna relojería. El aparato astronómico de D. Alfonso contiene ademas de las ruedas movidas por un peso, un volante de mercurio que oscila en un plano vertical; verificándose el sonido de las horas cuando una palanca, semejante al brazo de las balanzas, deja en libertad de girar a la linterna que comunica con las campanas, las cuales cesan cuando la misma palanca, solicitada por un peso, *escapa* de cada uno de los dientes de la gran rueda de las horas (1). En suma: los trabajos de la academia toledana, dignos de una descripción especial que no puede encerrarse en el reducido cuadro de este rapido bosquejo, dan la medida del ingenio y erudición de aquellos astrónomos, Poned en sus manos los instrumentos que las artes han creado en las edades modernas, y la astronomía práctica hubiera tomado inmenso vuelo, y ocupado en Castilla, durante el siglo XIII, el lugar que alcanzó algunas centurias despues en comarcas muy distantes de la imperial Toledo.

Estendidas sucesivamente por Europa las nociones astronómicas, se imaginan nuevos aparatos, se presentan hipótesis, y va levantándose lentamente el grandioso edificio científico de las modernas generaciones. A mediados del siglo XV, Purbach, Regiomonte y Walthier se distinguen en Alemania por sus esfuerzos en pró del adelantamiento de la astronomía práctica, mandando fabricar primero los instrumentos de Ptolomeo y la hallestilla, muy usada posteriormente en la mar, é imaginando despues el cuadrado geométrico, que media los senos de los ángulos observados, y el célebre *torquetum*, aparato complicado, que por su defectuosa construcción no prestó los servicios que de él se esperaban.

También Copérnico intentó, perfeccionando los medios de observación, llegar a resultados numéricos para compararlos con los antiguos y comprobar las diversas teorías; pero sus instrumentos solo le condujeron a determinaciones imperfectas; que si este grande hombre con-ginó con la profundidad de sus concepciones introducir una verdadera revolución en la astronomía, no pudo crear las artes mecánicas, que en sus adelantamientos sucesivos habian de ser el auxilio mas poderoso de la ciencia.

Conocidas por los chinos las propiedades de la aguja imantada, y aplicada esta a la navegación desde los primeros siglos de nuestra era, adquirieron los arábes en su comercio con los pueblos de Asia algunas nociones de tan útil invento, que pasando despues a Europa, donde se cita ya como muy usado en las sabias leyes del Rey D. Alfonso (2) y en los cantos inmortales del Dante (3), sirvió de clara antorcha en las grandes empresas navales, llevadas a cabo por los españoles y portugueses durante los siglos XV y XVI. Mientras Colon iba en busca de un nuevo continente que agregar a los dominios de la corona de Castilla, observaba con la mayor atención cuantos fenómenos se presentaban a su vista; y hallándose a 200 leguas al Oeste de la isla de hierro, advirtió que la dirección de las agujas de marear sufría grandes alteraciones, pasando del Nordeste al Noroeste, y cruzando por lo tanto una línea sin declinación, cuyo importante descubrimiento fué el origen de los trabajos hechos en Europa sobre el magnetismo terrestre. La brújula de declinación, tan perfeccionada por los artistas modernos, fué inventada en 1525 por Felipe Guillen, entendido farmacéutico de Sevilla, que intento determinar las longitudes en la mar por la variación de la aguja; teniendo presentes sus ensayos el cosmógrafo Alonso de Santa Cruz, en los estudios que emprendió cinco años despues para la formación del primer mapa general de las variaciones magnéticas; trabajos seguidos de otros no menos notables, entre los que figura el viaje de Juan Jaime desde Manila á Acapulco en 1585, verificado sin mas objeto que el de experimentar el instrumento que habia imaginado para el estudio de las curvas de declinación, y las importantísimas observaciones ilustradas con los nombres de Halley, Euler, Buffon, Humboldt y otros sabios de nuestro siglo.

La marcha seguida por la astronomía práctica era todavía muy lenta, cuando vino a imprimirle un poderoso impulso el ilustre Tycho-Brahe, cuyo inmenso caudal de observaciones preparó el inmortal descubrimiento de las leyes de Keplero. Comprendiendo que en los instrumentos de grandes dimensiones, la solidez y la estabilidad son las condiciones mas esenciales para obtener resultados precisos, con-

(1) «Et despues arma el cerco ygnador de guisa que se alleguen
• los cabos de las estacas luengas que hy pusistes al cabo del brago del
• peso do es colgado el plomo, et que traen del, et que lo algen por su
• movimiento, et que quando se alcare este cabo abaxarse ell otro,
• et soltarse a el agénia de las campaniellas, et mouersa et tanheran
• las campaniellas tanhiedo fata que escape el cabo del brago del pe-
• so de la estaca que lo fizo algar, et abaxarsa, et supra ell otro cabo
• et trabara dell agénia de las campaniellas et retenera et quedaran
• las campaniellas de se tanher fata que se allegue la segunda estaca
• que es en pos de la primera que fara assi cuemo fizo la primera (et
• esta es su figura).»

(2) «E bien assi como los marineros se guian en la noche escura
• por el aguja, que les es medianera entre la piedra e la estrella, e
• les muestra por do rayan, tambien en los malos tiempos, como en
• los buenos..... 2.ª Partida, tit. IX, ley XXVIII.

(3)

«Del coror dell' una delle luci move
• Si mosse voce, l' ago alla stella
• l' arer mi fece in volgarmi a suo dove.»
(Il Paradiso, Canto XII)

(1) Existe en la Biblioteca Nacional un pequeño astrolabio árabe de 21 centímetros de diametro, construido en Toledo por Alhakem Ibrahim Said Alnuazzel Alshahii en el año de 1067.

cibió el grande observador dinamargués la idea del cuadrante mural de siete pies de radio, que hizo asegurar permanentemente en dirección del meridiano; perfeccionó las pinulas para obtener pautas menos erróneas; y subdividiendo el limbo de metal por el sistema de transversales, aplicado ya en el siglo XV a la balística ó baculo de Jacob, consiguió apreciar hasta los arcos de cinco segundos. Sus sextantes astronómicos de seis pies de radio, divididos en cuartos de minuto, eran de dos clases: unos exclusivamente destinados a la determinación de la altura del astro observado en un plano vertical; y otros, que llamaba de distancias, se montaban en una esfera que facilitaba los movimientos, ejecutándose la observación, lo mismo que en el *arcus bipartitus*, por dos personas á la vez. Los grandes cuadrantes de siete pies de radio, divididos de diez en diez segundos, giraban al rededor de un eje vertical, y servían igualmente para la observación del azimut, por medio de un círculo dividido en minutos y asegurado en la parte superior del muro de la torre, cubierta ya con una cúpula giratoria. El diámetro de sus armillas ecuatoriales era generalmente de seis pies, pero llegó a construir un aparato armilar compuesto tan solo de un círculo dividido en cuartos de minuto, con un semi-ecuador de veintidós pies de diámetro. También usó otro sextante portátil, cuyas alidadas se movían lentamente por medio de un tornillo, que da la primera idea del moderno de coincidencia; habiendo imaginado además un pequeño cuadrante vertical subdividido por el sistema de circunferencias concéntricas, descrito ya por Nuñez desde 1512, con círculo azimutal y tornillos en el pie para situar verticalmente el eje de rotación, de la manera que se practica en nuestros días. Pero lo que hace mas interesante la época de Tycho, es que de ella data la rectificación de los instrumentos, que tanta importancia ha adquirido en los tiempos modernos, y sin la cual, combinada con el estudio de todas las piezas que los constituyen, y con los procedimientos imaginados para conocer ó eliminar los errores de construcción, no es posible alcanzar la deseada exactitud. Todos estos cuidados y las innumerables dificultades que encontraba a cada paso para realizar sus ideas respecto a la perfección de los aparatos, le inspiraron esta exclamación: «Un buen instrumento es el finis de la Arabia». Siguió, no obstante, avanzando con la mayor perseverancia por el aspero camino que habia elegido, llegando a reunir en su famoso observatorio de Uraniburgo la mas rica colección de goniómetros y de relojes de segundos que hasta entonces se habia conocido; así como el fruto de diez y siete años de incesantes trabajos, entre los cuales se distinguen su célebre catalogo de estrellas, y la discusión de las observaciones solares, en que por primera vez tomaba en cuenta el valor de la refracción atmosférica, deducido aunque imperfectamente, de sus propias determinaciones.

Al mismo tiempo que Tycho-Brahe asentaba la astronomía práctica sobre sólidas bases, observaba en España el cosmógrafo Andres de Céspedes con un cuadrante de su invención dividido directamente en minutos, comparando sus determinaciones con las de Bartolomé de la Gasca y del licenciado Caravallido, que hacían uso en Valladolid de un goniómetro de 120 pies de altura, y con las del doctor Solrino, diligente observador, que poseía un gran cuadrante de metal, cuya graduación era muy celebrada. El distinguido maestro Gerónimo Muñoz se dedicaba igualmente a las mas difíciles observaciones, cuyos resultados introducía en sus calculos el celebre astrónomo de Uraniburgo; y el nuevo planisferio de Juan de Rojas, aplicado a su ingeniosa astrolabio universal, era de día en día mas apreciado por los observadores de mar y tierra. La construcción de instrumentos astronómicos habia sido muy adelantada por el Rey D. Felipe II, de cuya orden se formó en el monasterio del Escorial una numerosa y variada colección de toda clase de aparatos procedentes de los talleres españoles, y de los que el gobierno sostenía en Flandes, atendiendo a la importancia que los escritores de náutica, y entre ellos Pedro de Medina, daban a los instrumentos para guiarse en medio de los horribles temporales a que se veían expuestos los marineros en la carrera de Indias. Algunos aparatos de esta época que han llegado hasta nosotros perfectamente conservados (1), manifiestan lo adelantada que se hallaba su fabricación; siendo notable por su finura y exactitud el grabado de las diferentes láminas en los astrolabios de grandes dimensiones.

Con la aplicación de estos instrumentos perfeccionados, y de procedimientos seguros para medir en toda clase de terrenos las distancias terrestres por medios trigonométricos, dió la geodesia un gran paso, saliendo del estado de abatimiento en que yacía. Pedro Esquivel en España con los aparatos de su época, mas tarde Snell en Holanda con los medios de observación imaginados por Tycho-Brahe, y el geógrafo Blaeu, discípulo de este último y autor del magnífico *Atlas universal y cosmográfico de los orbes celestes y terrestres*, dedicado a Felipe IV de España, fueron los primeros que entraron en la nueva senda, abierta a los trabajos relativos a la determinación de la figura y dimensiones del planeta que habitamos.

Dedicado Kepler con singular empeño a los estudios astronómicos, y disponiendo de las observaciones originales y preciosos documentos de Tycho, llega, después de laboriosos trabajos y profundas meditaciones, a los descubrimientos que han pasado su nombre a la mas remota posteridad, y que forman hoy una de las épocas mas memorables de la historia de la astronomía. Entre los eminentes servicios que este grande hombre ha prestado a la ciencia, están mas directamente al asunto que nos ocupa, la teoría de la visión, fundada en las propiedades del cristalino, que le permitieron explicar satisfactoriamente la formación de las imágenes que se pintan en la retina, y las causas de la claridad ó de la confusión con que se distinguen los objetos; los principios generales sobre la refracción, que condujeron al celebre Snell al descubrimiento de su importante ley; y por último las fórmulas usadas aun en nuestra época para calcular en determinados casos la distancia focal de las lentes, conocidas desde

algunos siglos antes, y que tanto habian de contribuir á los rápidos progresos de la astronomía en los últimos tiempos.

El siglo XVII, fecundo cual ninguno en inventos aplicables á perfeccionar mas y mas la observación, estaba llamado a presenciar el cambio radical de la astronomía y de la geodesia, la inesperada exactitud de las determinaciones y el nacimiento de la astronomía física, nueva rama de la ciencia que habia de crecer y extenderse prodigiosamente en los dos últimos siglos. Mientras Kepler en Alemania daba cima a sus grandes descubrimientos, un modesto fabricante de lentes en Middleburgo debia, segun parece, a la casualidad, la invención que ha cambiado por completo la luz de la astronomía. Los Estados generales de Holanda examinaban en el año de 1608 el nuevo instrumento de Lippershey, destinado á ver desde lejos; este instrumento era el antejo.

Diffundida por Europa la noticia de tan curioso invento, llega rápidamente a Italia, que sin mas noticias que las vagas indicaciones de la fama, halla bien pronto Galileo la combinación de las lentes convexas y cóncavas, que constituiría el nuevo instrumento; pero aunque en Holanda lo usán ilustre filósofo que en la exploración del cielo han de encontrarse sus mas vastas aplicaciones, y con el corazón lleno de esperanza, dirige el antejo al firmamento, ¡cual fue su admiración al descubrir cuerpos celestes cuya existencia no sospechaba; al convencerse de que hay un astro alrededor del cual circulan planetas secundarios, como lo verifican alrededor del Sol los que de antiguo se conocían; al distinguir la constitución de la vía lactea; al ver, en una palabra, prodigiosamente ensanchado el vasto campo de la ciencia astronómica! Como el delicado instrumento del habil operador abate la catarata que impide al ojo enfermo divisar los objetos, así el antejo, penetrando al través de la atmósfera que nos circunda, y acortando como por encanto la inmensa distancia que separa los astros de la tierra, permitió a Galileo asistir al magnífico espectáculo vedado hasta entonces a los mortales. Tan grande fue la sorpresa causada por la relación de los descubrimientos debidos al nuevo instrumento, que algunos filósofos, suponiéndolos efecto de una pura alucinación, se negaron a dirigir al cielo el antejo. No se cuenta ciertamente en este número a Kepler: a la primera noticia de la existencia de los pequeños globos que giran en torno de Jupiter, y que, corroborando las ideas del gran Copérnico, demostraban incontestablemente los principios generales del sistema solar, exclamó, repitiendo las célebres palabras atribuidas al Emperador Juliano: ¡Veni, oh Galileo!

La combinación de lentes con que se formó el instrumento holandés, a la que debemos los primeros descubrimientos en los espacios celestes, se hallaba, sin embargo, muy distante de satisfacer las vastas aspiraciones del hombre, ansioso de conocer la constitución del universo, y estimulado por las conquistas hechas ya en sus imperfectas exploraciones. A medida que aumentaba la amplificación del antejo, disminuía rápidamente el campo de la visión, y era forzoso detenerse sin haber obtenido los resultados que se anhelaban. Al imaginar Kepler en 1611 la sustitución de la lente cóncava con otra convexa, dió la primera idea del antejo astronómico, cuya disposición permite aumentar considerablemente sus dimensiones, y con ellas la amplificación de los objetos observados; pero la circunstancia de presentarlos invertidos impidió tal vez su pronta y general adopción, continuando durante mas de treinta años el uso exclusivo del primitivo antejo, que proporcionó sucesivamente el descubrimiento de las manchas del Sol, examinado ya entonces al través de un vidrio de color, la observación de la primera nebulosa, la de las fases del planeta Venus, la de los eclipses de los satélites de Jupiter aplicada a la determinación de la diferencia de longitudes geográficas, y el estudio de otros muchos fenómenos importantes de la física celeste.

El mismo antejo de Galileo adaptado a la cámara oscura, que permitía determinar gráficamente las posiciones de los astros y sus diámetros aparentes, fue el instrumento usado en Inglaterra por Horrocks para observar en 1639 la célebre conjunción inferior de Venus, anunciada por Kepler, que le daba grande importancia para el conocimiento de la extensión de nuestro sistema, y de la magnitud de los principales cuerpos que lo componen. Poco antes Morin, que fue el primero en observar los planetas y las estrellas cuando el Sol se hallaba sobre el horizonte, habia intentado dar una grande exactitud a las determinaciones astronómicas aplicando el antejo a los instrumentos graduados; pero no era posible reemplazar las alidadas de pinulas mientras no hubiese en el interior de aquel algun punto fijo a que referir la observación. El P. Rheita contribuyó en gran manera a la solución del problema, construyendo y dando a conocer en 1645 el antejo astronómico de Kepler, cuyo ocular bi-convexo, amplificando cuanto se halla en el foco del objetivo, presenta la imagen de Jupiter, del que nos separan 140 000 000 de leguas, y que es 1 500 veces mayor que nuestro planeta, y permite observarla del mismo modo que el naturalista observa la constitución del mas diminuto de los insectos por medio del microscopio, cuya invención es anterior a la del antejo holandés.

Si bien en Inglaterra habia hecho Gascoigne desde 1658 varias series de observaciones astronómicas con el auxilio del micrómetro, no fueron conocidos sus trabajos hasta después de haber concebido el holandés Huyghens la idea de medir la imagen formada en el foco común del objetivo y del ocular, para apreciar la magnitud del objeto observado. Antes de 1659 se valia ya este célebre astrónomo de un diafragma circular, cuyo diámetro aparente determinaba por el tiempo que una estrella empleaba en recorrerlo; y valiéndose de pequeñas lengüetas de distintas dimensiones, que introducia lateralmente en el antejo hasta conseguir la ocultación exacta del astro, obtenia su diámetro aparente, comparando la anchura de la lengüeta con la abertura del diafragma. Tres años después del invento de Huyghens imaginaba en Bolonia el Marqués de Malvasia el primer retículo conocido, que formado por una cuadrícula de hilos de plata muy finos, cuyas distancias aparentes determinaba, podía servir a la vez de referencia en las observaciones angulares y de micrómetro en las mediciones de pequeñas distancias; pudiendo considerarse esta invención como el complemento indispensable de la idea de Morin, y por

(1) En la Biblioteca Nacional se custodia un astrolabio de 50 centímetros de diámetro, dividido en sextas partes iguales, y dedicado al Rey D. Felipe II por el sobrino del celebre Gemma Frisio, Guillermo Arcevio, que lo construyó en Lubayna, año de 1566.

consiguiente como el origen de las observaciones precisas. Faltaba, no obstante, enseñar a corregir el error de colimación, lo que hicieron Picard y Auzout, perfeccionando además notablemente el micrómetro, que en 1666 se componía, como en nuestros días, de varios hilos paralelos y uno transversal fijos, y de otro móvil por medio de un tornillo que ha tomado después el nombre de *micrométrico*; pero no alcanzó a alcanzar en aquella época las artes mecánicas toda la perfección necesaria para conseguir la igualdad de los pasos de rosca, se usaba tan solo el tornillo para hacer marchar el bastidor, y en vez de contar en un tambor graduado las vueltas y fracciones correspondientes, se prefería generalmente determinar la separación a que habían quedado los hilos por medio de una regla dividida con la mayor finura, y examinada con un microscopio.

Los cuadrantes y demás sectores de círculo, provistos de anteojos astronómicos con micrómetro, graduados cada vez con más exactitud, y subdivididos por líneas transversales, ofrecían a los astrónomos poderosos medios de observación, que utilizaron con notable inteligencia Picard, Cassini y La Hire en las determinaciones astronómicas y vastas operaciones geodésicas que llevan sus nombres. Asumió causa que en medio de la general aceptación con que fueron recibidos los últimos inventos, llamados a hacer progresar rápidamente la ciencia, levantase su autorizada voz el astrónomo Hevel contra la sustitución de las pínulas por el anteojo. A pesar de su obstinación en este punto, prestó el célebre observador de Danitz grandes servicios a la astronomía práctica, habiendo aplicado a sus numerosos instrumentos varias mejoras, tales como los movimientos lentos con tornillos de coincidencia, y el pequeño arco dividido que, para apreciar las fracciones de la graduación, había imaginado el geómetra Pedro Vernier. Algun autor ha atribuido el mérito de tan útil invención al P. Clavius, que resolvió en 1611 el problema de dividir gráficamente una recta en partes iguales, valiéndose de dos divisiones trazadas en su prolongación, una en el mismo número de partes que deseaba obtener, y otra en una parte más; pero Vernier, en su tratado del nuevo cuadrante, que dedica en 1631 a la Infanta de España Doña Isabel, manifiesta que la novedad del instrumento consiste en el arco graduado que acompaña constantemente a la visual, y no en el principio aritmético que sirve de base a la subdivisión, pues este es bien conocido de todo matemático, así como los demás sistemas en que es preciso hacer uso del compás o de una multitud de circunferencias, con incertidumbre y confusión. Y en efecto, los instrumentos experimentaron un verdadero progreso, que todos los observadores han sabido apreciar, por lo que parece justo dar a tan sencilla pieza el nombre del inventor, como se hace ya en varias naciones: si bien se conoce en otras con el nombre latino del sabio portugués Nuñez, que empleó por primera vez las circunferencias concéntricas, y que por sus importantes trabajos ha alcanzado gran celebridad.

Aunque la astronomía no utilizó verdaderamente hasta el siglo XVIII los principales aparatos físicos destinados al estudio de la atmósfera, pertenece al siglo XVII la gloria de su invención. El termómetro de alcohol, conocido desde algún tiempo antes, y usado ya en 1641 para las observaciones de temperatura en varios puntos de Italia; el barómetro, descubierto tres años después por Torricelli al comprobar las ideas de Galileo sobre la ascensión del agua en las bombas, ideas conformes con la opinión de Keplero, a quien la contemplación de la naturaleza había hecho decir en 1604 que nuestra atmósfera era pesada; el higrometro, que aunque tan imperfecto en su origen presentaba indicaciones interesantes, han venido a ser con frecuencia compañeros del astrónomo, e inseparables del observador dedicado al estudio del relieve del globo; en cuya investigación tanta influencia tiene el estado de la atmósfera.

Las nuevas e importantísimas invenciones vienen a aumentar el número de aparatos que ayudan a los astrónomos en sus delicados trabajos. Huyghens aplicó en 1656 el péndulo a los relojes, y Gregorio construyó siete años después el telescopio de reflexión, cuya idea había ocurrido ya a Merseus, aunque sin haberla publicado. El ilustre Galileo empleó el péndulo simple para medir pequeños intervalos de tiempo; el matemático Vicente Mut determinó en Mallorca, antes del año de 1630, la longitud del péndulo de segundos; y estos primeros ensayos condujeron al astrónomo holandés a su célebre aplicación; pero geómetra profundo al par que diligente observador, investigó la forma de la curva que debía recorrer el péndulo para alcanzar el perfecto isocronismo de las oscilaciones; curioso problema cuya resolución, inaplicable al objeto que la promovió, ha proporcionado el conocimiento de la forma y propiedades de la cicloide. Formado por Gregory un aparato catóptico, y reconocida la aberración de refrangibilidad superior a la producida por la forma esférica de las lentes, que Descartes había intentado sustituir con la hiperbólica, se dedica el inmortal Newton al estudio de los aparatos de reflexión, construyendo por sí mismo un telescopio que regaló a la Sociedad Real de Londres el día de su ingreso en aquella ilustre Academia; mostrando así que el cultivo de las matemáticas en sus más elevadas especulaciones, no está reñido con los trabajos mecánicos que las ciencias de observación reclaman para su progresivo desarrollo.

De la misma época data el origen de los goniómetros de reflexión, fundados en un principio tan sencillo como fecundo, que aplicado a los aparatos náuticos ha sido de incalculables ventajas para los progresos de la navegación. Este invento, debido al doctor Hooke en 1681, fue perfeccionado por Newton veinte años después; pero permaneciendo sin aplicación durante más de diez lustros, no es extraño que se haya atribuido generalmente al astrónomo Halley, que en 1751 lo dio a conocer en una publicación especial, y dispuso la construcción de varios octantes con doble reflexión, que fueron reemplazados por los modernos sextantes. La relojería debe también al siglo XVII la aplicación que hizo Huyghens en 1656 del muelle espiral, importante mejora introducida en los antiguos relojes, de los cuales se conserva alguno del tiempo de Carlos V, en que una hoja de esparto ejerce las funciones de resorte. El mismo astrónomo, al estudiar la doble refracción de la luz en un trozo de cristal de Islandia, descubrió en 1678 la polarización, y abrió así el camino en que han brillado muchos sabios distinguidos, contribuyendo al esclarecimiento de varios fenómenos de la astronomía física.

Reconocidas las ventajas de las circunferencias completas sobre los sectores de mayor o menor número de grados, se establecieron circunferencias murales de grandes dimensiones; y la dificultad que presentaban estos en su construcción para servir de verdaderos instrumentos de paso, originó la feliz idea del anteojo meridiano con los actuales colimadores, publicada en 1700 por el dinamarqués Römer, que había presentado veinticinco años antes los primeros estudios sobre la propagación de la luz, introduciendo además el uso del microscopio con micrómetro fijo para apreciar las fracciones de división en los limbos de los instrumentos; aplicación que, perfeccionada sucesivamente, ha contribuido a la rapidez y exactitud de las observaciones modernas, llegando a generalizarse en los instrumentos astronómicos y en los usados para las operaciones de alta geodesia.

Los nacientes estudios sobre la constitución física de los cuerpos celestes, exigían ya, desde principios del siglo que nos ocupa, perseverantes observaciones, durante las cuales se hallase siempre el astro en el campo de la visión, lo que dio origen al uso del péndulo paralítico para seguir el movimiento diurno con un anteojo que giraba alrededor de un eje paralelo al de rotación de la tierra, como lo describió Scheiner en 1626, atribuyendo su invención al P. Gruenberger. Pero este primer ensayo no bastaba para determinar el pequeño movimiento anual de las estrellas, observando sus declinaciones con el auxilio de aumentos considerables, porque era preciso que el anteojo se moviese por sí mismo suave y uniformemente, a imitación del magnético movimiento que nuestros sentidos perciben en la bóveda celeste; resultado que ha llegado a conseguirse en las magníficas ecuatoriales conducidas por marfilinas de reloj, que poseen hoy los principales observatorios de Europa y América.

El anteojo astronómico, el reloj de péndulo, el telescopio y otros varios instrumentos de observación; el descubrimiento de los cuatro satélites de Júpiter, el del anillo de Saturno y de cinco de sus satélites; el de la rotación del Sol, de Júpiter, de Venus y de Marte; el achatamiento del segundo, las sublimes leyes del movimiento de los astros, y la de la atracción universal, constituyen el rico presente que debe la astronomía al gran siglo de Keplero, de Galileo y de Huyghens; de Fermat, de Newton y de Leibnitz.

Los rápidos progresos que hizo la astronomía durante esta época memorable, adelantándose a las demás ciencias con que se halla más íntimamente ligada, reclamaban de estas nuevas y poderosas auxilios. Desde el siglo XVIII se ve felizmente secundada la astronomía práctica por la física y la mecánica, y bien pronto se levanta vigorosa, acercándose con paso seguro al objeto de sus difíciles aspiraciones. La medición del tiempo, que había recibido ya del ilustre Huyghens el péndulo y el muelle espiral, reclamaba de la física un medio de evitar las continuas variaciones que es originaban los relojes por los cambios de temperatura; cincuenta y nueve años después de aquella célebre aplicación, intentaba Graham compensar el péndulo fundándose en la desigual dilatación de los metales, que condujo en 1721 a la compensación del mercurio, y poco después a la rejilla de Harrison; habiendo alcanzado tan importante mejora a los relojes marinos o cronómetros, que ya mediado el siglo recibieron de Le Roy el volante circular compensado y el muelle espiral isócrono; elementos que con el escape libre del mismo constructor, perfeccionado por Arnold, Earnshaw y otros artistas modernos, forman hoy esas máquinas portátiles de tan admirable regularidad.

Si la relojería de precisión debe exclusivamente su existencia a los progresos de la física, la visión telescópica recibió de la misma ciencia un auxilio tan eficaz, que ha formado época en la historia de la astronomía práctica. En los colosales anteojos que llegaron a construirse por Campani y Auzout se disminuía todo lo posible la abertura del objetivo, tomando además otras precauciones, que no alcanzaban a impedir la formación de las imágenes circundadas del iris, que tanto dificultan la observación. Admitido, según un experimento de Newton, el principio de que un rayo de luz no podía refractarse sin sufrir la descomposición, se creía imposible despojar a las imágenes de aquel grave defecto; pero el insigne Euler, que intentó asimilar el objetivo al ojo humano, valiéndose de una combinación de cristal y agua para corregir a la vez la aberración de esfericidad y la de refracción, suscitó una viva controversia que, ilustrada por Klingenshierna y Dollond, concluyó con la célebre experiencia de este último, demostrando la posibilidad, de formar objetivos que no produjesen imágenes rodeadas de la aureola de colores, lo que originó el anteojo acromático, premiado en 1738 con la gran medalla de la Sociedad Real de Londres.

La Academia de Ciencias de París que, haciendo uso de su poderosa iniciativa en las cuestiones científicas, había encargado al astrónomo Richer su expedición al ecuador, dispuso posteriormente la formación de dos comisiones dirigidas por Maupertuis y Bouguer, encargándoles la determinación de la magnitud del grado de meridiano terrestre hacia el círculo polar ártico y cerca del ecuador, con el objeto de disipar definitivamente las dudas acerca de la verdadera forma de la tierra. Entre los memorables trabajos geodésicos de esta última comisión, de la que formaban parte los distinguidos marinos españoles D. Jorge Juan y D. Antonio de Ulloa, se cuentan los provechosos estudios sobre la constitución física de la atmósfera, que demostraron la necesidad de introducir las indicaciones barométricas y termométricas para calcular las correcciones relativas a la refracción; cuya teoría físico-astronómica ha sido después cultivada con empeño por los geómetras de más nombre, e ilustrada con difíciles observaciones, tales como las recogidas por Humboldt en su excursión al imponente Chimborazo, y por Gay-Lussac, Bixio y Barral durante sus célebres ascensiones aerostáticas, en que se elevaron a más de 7 000 metros sobre el nivel del mar. El astrónomo Bouguer imaginó en 1748, poco después de su vuelta a Europa, el heliómetro de dos objetivos, perfeccionado en Inglaterra por Savary con la sustitución de uno solo dividido en dos partes iguales, que se mueven paralelamente a lo largo del diámetro común; instrumento muy usado después por el ilustre Bessel en sus notables trabajos sobre la paralaje de las estrellas. En medio de sus multiplicados estudios, se dedicó también D. Jorge Juan a cuanto se entera más directamente con la construcción de instrumentos, habiendo escrito a mediados del

siglo su interesante memoria sobre la fábrica y uso del cuarto de círculo, en que considerando la graduación como la cosa más difícil de ser bien ejecutada, pone de manifiesto, con cuatro triángulos de la cadena del Perú, la influencia que en aquella época tenían los errores de la división, y la importancia de determinarlos cuidadosamente para aplicar a los valores obtenidos las correspondientes correcciones, que en los ángulos presentados como ejemplo llegan alguna vez a 26 segundos.

Durante el último tercio del siglo, reciben los instrumentos importantes mejoras. Haciendo una feliz aplicación de la idea que había ya publicado en 1752, propone, quince años después, el célebre astrónomo Tobias Mayer la sustitución del octante con un círculo de reflexión, en que se disminuían los errores a medida que se multiplicaban las observaciones; cuyo pensamiento fue notablemente perfeccionado por Borda en 1775. Mientras este distinguido marino francés, fundándose en el mismo principio de Mayer, imagina en 1786 su círculo repetidor, el teodolito inglés, compuesto de un antejo montado en un círculo horizontal, cambia completamente en manos de Ramsden, y se convierte en un instrumento que mide a la vez los ángulos azimutales y las distancias al zenit, introduciéndose también aunque lentamente, el uso del nivel de aire, que ha venido a reemplazar con inmensa ventaja a las plomadas en todos los aparatos de precisión.

Pero lo que ocasionó un cambio radical en los instrumentos, permitiendo hacer uso de los de pequeñas dimensiones, fue la manera de ejecutar la división de los limbos. El procedimiento ordinario de dividir por medio del compás se perfeccionaba en Inglaterra por Birt, cuando el Duque de Chaulnes, aplicando la idea de las máquinas empujadas por los ingleses desde principios del siglo para construir las ruedas dentadas de los relojes, presentó a la Academia de Ciencias de París en 1765 el sistema de plataforma graduada y microscopio, que puede considerarse como el origen de las inapreciables máquinas de dividir usadas en el día, compuestas generalmente de plataformas movidas por tornillos tangentes, según el método de Ramsden, ó de grandes círculos combinados con el uso del microscopio micrométrico.

Estudiando la paralaje ántea en un antejo meridiano de grandes dimensiones, descubrió Bradley en 1728 la aberración de las estrellas, y después de diez y nueve años de observar incesantemente con su gran sector zenital, comprueba el movimiento de nutación, sospechado ya por Newton con arreglo a los principios de la gravitación universal. Los telescopios de William Herschel, que llegan a una amplificación de 6500 veces, proporcionan en manos de este gran observador el descubrimiento de Urano y de seis de sus satélites; el de la existencia de otros dos satélites de Saturno, y la rotación y achatamiento de este planeta; así como los vastos y difíciles estudios sobre las nebulosas, y las observaciones de estrellas múltiples con los micrómetros de *támpura* y de *posición*, que le permiten presentar el sistema estelar bajo un punto de vista que tanto se presta a las futuras investigaciones de los astrónomos.

En vista de los prodigiosos resultados obtenidos con los telescopios de Herschel, ordenó el Rey D. Carlos IV la adquisición de uno de 25 pies de longitud con destino al naciente observatorio astronómico de Madrid, comisionando al distinguido capitán de navío de la Real Armada, D. José de Mendoza y Ríos para que examinase detenidamente el instrumento, remitiéndolo a España con las precauciones necesarias, lo que tuvo lugar a fines de 1801, según consta en la descripción y numerosos dibujos que con otros documentos originales se conservan en el archivo de aquel establecimiento. El marino Mendoza, que desempeñó con singular acierto esta comisión, se hizo notar muy ventajosamente por sus interesantes publicaciones que, dando principio en 1787 por el tratado de navegación, calificado por Navarrete de la obra más magistral y más completa que de esta materia tenemos en nuestro idioma, y siguiendo con otros varios trabajos que vienen a la luz pública en España, en Inglaterra y en Francia, concluye con sus célebres tablas de astronomía náutica, citadas con gran elogio por Delambre (1) y de las que se han hecho repetidas ediciones en los tres países, la consagra con verdadero entusiasmo a los estudios propios de la noble profesión que había abrazado, perfeccionó también los instrumentos náuticos, describiendo en las *Transacciones filosóficas* de 1801 su círculo de reflexión, que proporciona más exactitud y facilidad en las observaciones.

Otro sabio español, el matemático Rodríguez, que tomó parte con Riot, Arago y Chaux en las observaciones de la cadena del meridiano de París, prolongada a lo largo de nuestras costas orientales y hasta la isla de Formentera, rehizo por completo los penosos cálculos a que dieron lugar los trabajos geodésicos del coronel Lambton en la India, y descubrió varios errores que habían conducido a Delambre a un valor demasiado grande del achatamiento terrestre (2), considerablemente reducido después de verificar las correspondientes correcciones. Los valores generalmente adoptados para los semi-ejes polar y ecuatorial, han sido modificados recientemente por Struve, a consecuencia de la comparación directa entre el arco de la India y el de

25° 20' medido desde el Danubio al mar Glacial: trabajo inmenso publicado por la Academia de Ciencias de San Petersburgo (1).

Imaginados, como se ha indicado ya, los principales instrumentos de observación, reciben en nuestro siglo numerosas modificaciones que los perfeccionan notablemente: sabios astrónomos y distinguidos artistas combinan sus esfuerzos para cultivar con decidido empeño este fructífero campo de la ciencia; y llamando en su auxilio al análisis, poderosa palanca intelectual, que desde el siglo XVII se ha engrandecido sucesivamente, elevan a la astronomía práctica a una altura tal que, como ha dicho un autor moderno, medio siglo bastaría para rehacer una ciencia que ha tardado más de dos mil años en desarrollarse y llegar al estado de prosperidad en que hoy la vemos. Los círculos meridionales reñen por sí solos las propiedades de los murales y de los antejos de paso: los objetivos alcanzan dimensiones desconocidas hasta ahora, conservando y aun aumentando la claridad y exactitud de las imágenes; invéntanse diferentes especies de micrómetros, y se modifican otros conocidos ya anteriormente, construyéndose rosas micrométricas de admirable precisión; los instrumentos de medir ángulos adquieren una forma simétrica y una solidez que proporciona los más felices resultados; la división de los círculos se hace con notable perfección en talleres de primer orden, cuyas máquinas marchan alguna vez a impulsos de un motor eléctrico; la sensibilidad y uniforme trabajo interior de los niveles llegan a cuanto se puede desear; progresa grandemente la relojería, tanto en la disposición de sus principales mecanismos, como en el ajuste general de todas las piezas; y los instrumentos portátiles usados en las operaciones más elevadas de la geodesia, dan resultados que hubieran sido quimérico esperar de los que las artes producían hace un siglo.

Los teodolitos y círculos conocidos con el nombre de *repetidores*, después de prestar grandes servicios a la astronomía y a la geodesia, son reemplazados por muchos observadores de nuestra época, con los instrumentos fundados en el principio que se ha convenido en llamar de la *reiteración* ó medición simple del ángulo, hecha diferentes veces sobre distintas partes del limbo; principio que presenta ventajas evidentes en la observación de distancias zenitales, y que aplicado a círculos divididos con esmero y provistos de buenos aparatos subdivisores, tiene también superioridad sobre el primero en la medición de ángulos azimutales, prestándose además admirablemente al sistema de vueltas de horizonte, adoptado para observar las diferentes direcciones que concurren en cada uno de los vértices geodésicos. El capitán inglés Mudge indicó ya en 1790 el sistema de reiteración; pero empleando metódicamente desde 1825 en los trabajos geodésicos de Rusia, y en los que verificaron el ilustre Bessel y el sabio General Baeyer para la medición del arco de meridiano en la Prusia oriental, siguiendo igualmente los primeros astrónomos de Alemania, Suecia y Noruega, así como los observadores norteamericanos, los ingleses que operan en la India, y los españoles que se ocupan en las operaciones geodésicas que han de servir para la formación del mapa de nuestro país.

Si los progresos hechos en la construcción de goniómetros permiten obtener los valores angulares con grande aproximación, las modificaciones que sucesivamente se han ido introduciendo en los aparatos de medir bases, cuyo origen data apenas de un siglo, y el uso de los comparadores modernos para determinar la relación entre las diferentes unidades de medida, proporcionan hoy los medios de conocer la longitud de las líneas de partida con toda la exactitud que requieren en los trabajos geodésicos más delicados. Pero mientras que algunos observadores, atribuyendo a las determinaciones angulares un peso muy inferior al de la medición de las bases, han elegido estas de la mayor longitud posible, para que al enlazar con los grandes lados de la triangulación no se ocasionasen errores considerables, parece a muchos autores conveniente, cuando se dispone de buenos instrumentos, limitarse a medir líneas de dos a tres kilómetros, ligando sus extremos a los primeros vértices por medio de un sistema poligonal, cuya forma ofrezca diferentes comprobaciones, y empleando un método analítico para la compensación de los errores. Importaba mucho hacer en España un estudio sobre este punto tan controvertido, para decidir si debían elegirse de mucho ó de poca longitud las bases geodésicas que se midan; y con objeto de reunir los datos necesarios, al mismo tiempo que se verificaba la medición de la base central, se hicieron todas las observaciones angulares para obtener además del valor directo, otro calculado por una triangulación especial apoyada en una sección de la gran base, presentando un grande acuerdo los dos resultados.

Con el auxilio del telégrafo eléctrico y de los modernos aparatos que marcan el instante en que se observa un fenómeno, se determina hoy con extraordinaria exactitud la diferencia de longitudes geodésicas, que se obtenía desde el tiempo de Hiparco observando algunos fenómenos instantáneos, ó bien por medio de penosos viajes en que se trasportaba un número considerable de cronómetros, realizando las ideas de Gemma Frisio, que indicó ya este procedimiento a principios del siglo XVI. Por el sistema de señales electro-magnéticas, y evitando cuidadosamente los errores debidos a la *emanción personal*, indicados por Maskelyne, y que tanto ocuparon al sabio Bessel, se hallan ya ligados entre sí los primeros observatorios astronómicos de Europa; en los Estados-Unidos de América se han hecho algunas operaciones análogas, y en España la Junta general de Estadística, representada por el distinguido astrónomo que debe hablar hoy en este recinto a nombre de la Academia, prosigue por iguales medios la determinación de las posiciones geográficas de las principales poblaciones del Reino.

Los grandes trabajos emprendidos para establecer la moderna red de vías de comunicación, que constituye uno de los timbres de

(1) «En exposant dans le volume de l'an XIV diverses méthodes pour le calcul des distances de la Lune au Soleil et aux étoiles, j'ai donné ouvertement la préférence à celle de M. de Mendoza sur les miennes et sur toutes les autres. Depuis, cette méthode est devenue plus facile encore par la publication de ses Tables. Cet ouvrage est le plus complet, le mieux conçu, le plus commode qui ait encore paru sur l'astronomie nautique.» (Delambre, *Connaissance des temps pour l'an 1808*.)

(2) «Hence Delambre deduced the oblateness of the terrestrial spheroid to be the 206 th. part. But Rodriguez, an able Spanish mathematician, who had already criticised the observations of Mudge, detected various mistakes in Lambton's calculations, which being rectified, reduced the depression of the Earth to the 520 th. part.» (Leslie, profesor de filosofía en la Universidad de Edimburgo, *Enciclopedia Británica*, vol. I, disertación V.)

(1) En esta obra se asigna al semi-eje ecuatorial la longitud de m 6578208.7, resultando el achatamiento de $\frac{1}{294.75}$. («Arc du Meridien de 25° 20' entre le Danube et la Mer Glaciale, mesure depuis 1816 jusqu'en 1855. St. Petersbourg, 1860.»)

nuestro siglo, y la necesidad de conocer las altitudes de los puntos notables para enlazar los numerosos estudios topográficos que en el día se ejecutan, han dado nuevo interés a las nivelaciones geodésicas, que si bien presentan algunas discordancias cuando se hace uso en el cálculo de un coeficiente general de refracción, proporcionan resultados muy satisfactorios si se observa recíproca y simultáneamente sobre lados de corta longitud, adoptando para señales las miras planas, ó los heliostatos de Gauss usados ya con éxito admirable en las observaciones azimutales de la triangulación española, aun en diagonales de comprobación a distancias de 125 kilómetros. Las nivelaciones que ligan entre sí las costas bañadas por los principales mares de Europa, y el pequeño trabajo de esta especie que se ha ejecutado en España con objeto de indagar el desnivel de los dos extremos de la base de partida, son otras tantas pruebas de la exactitud con que la geodesia moderna puede determinar la tercera coordenada de los puntos trigonométricos.

Tal es, Señores, el estado de los instrumentos y métodos de observación que emplea la ciencia moderna; sin el robusto apoyo debido al genio de algunos insignes varones, jamás hubiera llegado a tal perfección, ni presentaría convertido en anchuroso campo de fácil acceso lo que fué estrecha senda, por donde los primeros filósofos se abrieron paso á través de todo género de obstáculos. El hombre halla hoy el estudio científico extraordinariamente dividido, y elige la dirección a que se siente inclinado; bastale un decidido amor al trabajo para ocupar un puesto en la gran falange que marcha en pos de los genios, siempre escasos en número, llamados á dirigirla; y al par que contribuye en proporción de sus fuerzas al esclarecimiento de la verdad, vivifica su espíritu con el sagrado fuego de la ciencia; que, alejándole insensiblemente de las agitadas luchas de la vida, tan propensas á amargas decepciones, le hace mas grata la existencia, y le inspira tan solo la mas pura y noble de las ambiciones: la noble ambición del saber.

PARTE OFICIAL.

10 de Marzo. Real-orden autorizando á D. Francisco Miró para que aproveche las aguas del rio Segre como fuerza motriz de un molino harinero que intenta construir á unos 100 metros del puente que existe frente á la ciudad de Lérida, bajo ciertas condiciones.

10 de Marzo. Real orden autorizando á D. Feliz Martínez, para que aproveche las aguas del arroyo de Beamud como fuerza motriz de un molino harinero que intenta construir en el término del pueblo del mismo nombre, provincia de Cuenca bajo ciertas condiciones.

11 de Marzo. Real orden autorizando á D. J. Boix y compañía, para que tomen del rio Trritar 250 litros de agua por segundo, con objeto de regar 300 hectareas de una finca denominada Vega de Carrasco, término de Casa Tejada, provincia de Cáceres, bajo ciertas condiciones.

14 de Marzo. Real orden autorizando á Doña Rita Caradevall y Morat, para que aproveche las aguas del rio Fluvia como fuerza motriz de una fábrica de hilados que intenta construir en el término de San Juan les Fonts, provincia de Gerona, bajo ciertas condiciones.

SUBASTAS.

10 de Abril. De las obras de la carretera de segundo orden de Lillo á Villacabias, en la parte comprendida en la provincia de Toledo. Presupuesto, 853.959 rs. vn.

24 de Abril. De las obras de construcción de un faro de quinto orden en la isla de Ons, provincia de Pontevedra. Presupuesto, 244.629,71 reales vellón.

24 de Abril. De las obras de construcción de un faro de quinto orden en la punta del Molino, en Palamós, provincia de Gerona. Presupuesto, 157.527,92 reales vellón.

24 de Abril. De las obras del trozo primero de la carretera de tercer orden de Sabadell á Prat de Lluanes. Presupuesto, 773.188,98 reales vellón.

8 de Mayo. De las obras de construcción de dos lu-

ces de enfilación para el puerto de Naos, en Canarias. Presupuesto, 74.321, 22 reales vellón.

Por extracto, A. MONTERDE.

NOTICIAS VARIAS.

A continuacion insertamos varios datos que sobre el consumo de agua en las grandes poblaciones, hemos tomado de distintas obras.

Cálculase, en general, que cada individuo necesita para beber y preparar los alimentos 2 litros diarios y 18 litros para las demas atenciones de lavado etc. La reunion en familia economiza de una manera muy notable esta cantidad de agua, bastando para una compuesta de cinco individuos 40 litros al dia.

En Paris se consumen por:

una persona..	20 litros por dia.
un caballo..	75 id. id.
un coche de dos ruedas. . .	40 id. id.
uno id. de cuatro.	75 id. id.
una máquina de vapor de alta presión.	200 lit. por hora
una id. de presión media. .	400 id. id.
una id. de baja presión. . .	800 id. id.
riego de un metro cuadrado de jardin.	500 litros al año.
un baño.	500 id. al dia.
riego de un metro cuadrado de calle.	1 id. id.

La Direccion del Canal de Isabel II ha señalado el siguiente consumo para Madrid.

por cada persona.	26,20 litros.
por cada caballeria.	97,75
por un carruaje de dos ruedas..	65,51
por uno id. de cuatro ruedas.	97,75
por cada metro superficial de riego de un jardin.	65,51

El adjunto estado manifiesta el consumo de algunas poblaciones tanto de Europa como de América.