

subterráneo y cae a la quebrada del Gran Curí, a una distancia de unos tres kilómetros, por entre las rocas disgregadas que forman un pequeño túnel.

Anida en los árboles que crecen en el fondo una bandada de palomas que al ser inquietadas por un cohete o un tiro, ascienden formando curvas en forma de hélice y se dispersan en el bosque vecino para reunirse y descender a su morada. El ave característica que allí tiene su morada, es la misma que en Colombia y Venezuela habita las cornisas salientes, formadas por las rocas en las cavernas profundas y oscuras. Es la misma que en la grieta de Sumapaz se llamaba *Cacas* y hoy se llama *Guácharo*; *Guapacoo* en el Chaparral; *Chillador* en Vélez; *Guácharo*, en la cueva de Caripe, en Cumaná, y que Humboldt designó con el nombre de *Steatornis*, del género *Passereaux dentirostros*, con los caracteres del de la cueva de Caripe (1).

Los guácharos son aves del tamaño de una paloma, pero de cuerpo alargado; de plumaje color carmelito con manchas blancas en las alas y en el pecho, y con algunos puntos negros en diferentes partes; de pico encorvado y fuerte como el de los accipitros, con doble hilera de dientes; dedos largos, no unidos por membrana interdígital; anchas alas, como destinadas a largos vuelos. Sus nidos son cilíndricos, de 10 a 15 centímetros de altura por 15 a 20 de ancho, excavados en su cara superior en forma cónica, fabricados con barro y materias vegetales, residuos de su alimentación, que construyen en las cornisas y anfractuosidades de las rocas en donde permanecen durante el día. En la grieta de Sumapaz se ven los nidos en las cornisas salientes que ha formado la erosión de las aguas del río, especialmente en el puente natural, que queda a 500 metros arriba del puente por donde pasa el camino. En ellas se ven aglomerados los guácharos en continua pelea, lanzando gritos estridentes y tratando los unos de desalojar a los otros. Al anochecer salen en bandadas a los bosques, especialmente a los de climas templados, donde haya palmeras, cuyos frutos son la base de su alimentación. A pesar de la forma de su pico y de sus caracteres generales, los guácharos son vegetarianos.

* * *

Respecto del origen o causa de formación del Hoyo del Aire, pueden formarse algunas hipótesis:

Origen meteórico.—No son raros los cráteres, como llaman los ingleses a los pozos abiertos por la caída o explosión de un meteorito, cuyas dimensiones pueden ser mayores que las del Hoyo del Aire, como sucede en el de Arizona, que tiene 1.185 metros de diámetros y 171 metros de profundidad; o en el de Texas, con 160 metros de anchura; o en el de Wabar, con 100 metros de diámetro y 10 de profundidad; o en los de Henbury, en los cuales el más grande tiene 178 metros de diámetro por 40 de profundidad; o en el de Campo Hermoso, en la Argen-

(1) Humboldt. *Voyages*. T. 2, París. 1817.

tina, de menores proporciones. Todos ellos tienen forma cónica más o menos pronunciada; sus bordes están levantados en forma de brocal, hasta de 50 metros, sobre la planicie que los rodea, como en el de Arizona; en todos ellos se encuentra hierro meteórico en su rededor, puro o mezclado con otros metales, que pueden ser níquel o platino, como en Arizona, en donde el hierro está en tal abundancia que se han recogido más de veinte toneladas y se han formado compañías poderosas para buscar la masa principal del aerolito y separar el platino que debe contener; o vidrio silicoso, resultado de la fusión de la arena que pueda encontrarse alrededor de algunos de ellos, como en el de Wabar, que forma por sí solo el reborde que lo rodea.

En el Hoyo del Aire no se encuentra hierro, ni vidrio; no tiene reborde; sus paredes son verticales y los materiales que las forman no están disgregados, como en las de origen meteórico, sino que sus capas están en completa concordancia. Es de pensarse que los cráteres meteóricos no son producidos por la sola fuerza de penetración producida por el choque, sino en gran parte por la explosión del meteorito y la disgregación de su masa, que es lanzada a grandes distancias. Una explosión de dos minas en *La Boisselle*, durante los combates del Somme, en 1916, abrió un cráter semejante en la forma a los producidos por los meteoritos, con un diámetro de 70 metros y una profundidad de 20 metros (1).

Tampoco se encuentran en Vélez detritus volcánicos, como piedra pómez o cenizas.

Hundimiento.—La acción de las aguas subterráneas se revela en los terrenos calcáreos (carbonato o sulfato de cal) por la formación de grietas profundas en cuyo fondo corren las aguas que la han producido, como en la de Sumapaz; o por la perforación de túneles, como sucede en el río Bojacá, en las inmediaciones de Facatativá; en la Cueva de la Antigua o en la de Tuluní, en el Chaparral, y en casi todos los puentes naturales, como en el bello de *Jesús*, en Gachalá; o por la formación de cavernas, como la del cerro de Capote, en el Táchira, que exploramos en una extensión de más de 400 metros con don Rafael González, hace muchos años; o la de Cheddar, en Inglaterra.

Las aguas subterráneas que corren por el fondo del Hoyo del Aire, unidas a las que manan en el túnel que les da salida, lentamente, en el transcurso de los siglos, disolvieron los materiales solubles que encontraron a su paso, disgregaron las rocas y produjeron el hundimiento que forma el abismo.

Lo que hay de sorprendente es que el hundimiento que produjo el Hoyo del Aire tenga la forma cilíndrica que reviste y que su profundidad sea tan grande. Esto último puede explicarse por la proximidad de la Quebrada del *Gran Curí* y por la diferencia de niveles entre el Hoyo y la Quebrada.

(1) *Geographical Journal*. March, 1933, London.

LOS OBSERVATORIOS Y LA APLICACION DE LAS MATEMATICAS

ALBERTO BORDA TANCO

ex-Rector de la Facultad de Matemáticas e Ingeniería de Bogotá.

Los beneficios que la Astronomía y la Geodesia han recibido de las matemáticas son tantos y tan grandes, que con todo derecho se consideran éstas generalmente como ciencias fundamentales.

Ante la inmensa producción de las matemáticas puras, aparentemente desproporcionada con las necesidades de la *Filosofía natural* (como se llama también la alta Física), el estudioso de las ciencias experimentales y de observación se halla perplejo al ver la grande abundancia de materias que le son necesarias, y ve apenas iniciada la solución del problema de las que le son fundamentales, y exclama con Fausto:

"Lo que se ignora es justamente aquello que se necesita y de lo que se sabe no se puede sacar todo el provecho".

Hay más: al afirmarse los medios de observación pone en claro la Matemática en los hechos naturales irregularidades imprevistas, compromete las teorías simples de antaño y parece hacer menos inmediata la utilidad de las fórmulas. Pero el desconsuelo que puede sobrevenir por estas apariencias no es sino pasajero. En primer lugar, las irregularidades casuales y aparentes no quitan naturalmente al observador sagaz la vista del conjunto.

A este propósito puede citarse uno de tantos casos de armonía entre el experimento y el cálculo: el más típico en estos momentos: la forma del geode. Desde hace más de un siglo se estudian las desviaciones de la superficie del nivel terrestre respecto a la simple hipótesis geométrica del elipsoide de revolución: ondas continentales, depresiones submarinas, atracciones locales han llenado la imaginación y desafiado la paciencia y sagacidad de los geodestas y de los astrónomos, triangulaciones, medidas astronómicas, determinaciones de la gravedad, para las cuales no sólo la tierra sino el mar han ofrecido un campo fecundo de estudios, han llevado a la conclusión de que la superficie del geode puede considerarse como un elipsoide de revolución; pero la figura regular del geode, que era puramente imaginativa entre los estudiosos de antaño, hoy ha sido confirmada por la ciencia matemática.

En cuanto a la desproporción entre los esfuerzos de la Matemática pura y las exigencias de la aplicada es más aparente que real. Existe, además, tanta analogía entre los modos de razonar en las varias ramas de las matemáticas puras, que los progresos de una rama completamente especulativa pueden aprovechar a los de otra que tenga inmediata aplicación en las Ciencias físicas; de tal manera que se puede afirmar que no existe parte del análisis matemático y de la Geometría, por abstrusa

que sea, que no pueda utilizarse en las aplicaciones. H. Poincaré dijo alguna vez que si Maxwell hizo progresos enormes en la Electrotécnica, fue porque empleó en sus trabajos la teoría de los vectores.

Uno de los más importantísimos problemas sometidos a la observación y a la experiencia, estudiado por las altas matemáticas, es el desalojamiento de los polos terrestres y el de las deformaciones a que están sometidas las superficies de nivel terrestre, por varias causas y, especialmente, por la acción variable del sol y de la luna. Estas deformaciones se relacionan con el problema del grado de rigidez terrestre y, más generalmente, con la teoría de la figura de la tierra como cuerpo variable, de que hemos ya hablado. Y las matemáticas son los grandes auxiliares en estas grandes cuestiones.

En nuestro Observatorio Astronómico Nacional, que ya lo podemos llamar así por las investigaciones que en los últimos años se están llevando a cabo allí, el distinguido matemático y astrónomo, doctor Jorge Alvarez Lleras, Director de aquél, se está ocupando con grande pericia y entusiasmo en estos estudios de alta ciencia que darán renombre a Colombia.

Daremos en seguida algunas ideas de los notables trabajos que ha estado ejecutando el señor Director del Observatorio Astronómico Nacional en estos últimos años, copiando parte pertinente de la exposición que figura en el folleto editado por el Observatorio en 1935 y que se publicó con el título: "Longitud y Latitud del Observatorio".

En ese trabajo se dijo así:

"En el año de 1897 el Director del Observatorio, doctor Julio Garavito A., publicó un folleto con el título "Latitud del Observatorio de Bogotá", en el cual expuso este sabio profesor su método para la determinación de la misma, consistente en la combinación acertada del método de Talcott y la medida del tiempo en la reducción al meridiano, es decir, en la aplicación de los métodos generales de alturas iguales al caso de estrellas circunmeridianas. En el año de 1925, la Oficina de Longitudes, bajo la dirección del experto ingeniero doctor Julio Garzón Nieto, publicó otro opúsculo que intituló "Longitud de Bogotá", y en el cual se hizo una breve descripción de los trabajos llevados a cabo para la determinación directa por medio de señales horarias inalámbricas, de la longitud del Observatorio".

"Pero, realmente, faltaba en 1930, año en el cual se procedió a la reorganización de este Instituto (30 de octubre de 1930), un plan de acción sistemática para la determinación precisa y periódica de la longitud y de la latitud, con mira a una contri-

bución aceptable del Observatorio de Bogotá en la grande obra de interés científico universal que adelantan actualmente, con tanto acierto, Corporaciones como la Asociación Geodésica y Geofísica Internacional y la Unión Internacional Astronómica".

"Para subsanar este defecto y hacer de este Observatorio una estación de latitud y un centro de longitud en las diversas operaciones internacionales, que se han efectuado y se efectuarán desde 1933, se resolvió por la Dirección del Instituto proceder a la adaptación del local, enteramente inadecuado en un principio para esta clase de observaciones, mediante obras accesorias que lo habilitaran para el empleo de instrumentos modernos y apropiados".

"Realizada esta labor de reconstrucción y adaptación y conseguido parte del instrumental necesario, se iniciaron las observaciones preliminares de latitud a fines de 1932, empleando para ello un anteojo de pasos meridianos acodado tipo "Bamberg" de la Casa Gustav Heyde, de Dresde".

"Para sus trabajos de latitud el doctor Garavito empleó un simple teodolito "Troughton and Simms"; y, precisamente, por carecer entonces el Observatorio de elementos apropiados, se vio él precisado a idear su método, que destinó al uso de los ingenieros de la Oficina de Longitud en el levantamiento de la carta del país; sin que nunca, ni entonces ni muchos años después, este Observatorio se hubiera preocupado de la labor aconsejada por las Corporaciones geofísicas y geodésicas internacionales, en el punto referente a las variaciones de la latitud".

"Muchos años después de la determinación de la latitud por Garavito, la Oficina de Longitudes colaboró en la operación mundial de las longitudes de 1926, y obtuvo el valor que ha figurado, juntamente con el dato de Garavito, en los anuarios y almanaques náuticos que publican las posiciones geográficas de los principales observatorios".

"Realmente, tanto el valor de la latitud como el de la longitud, hallados en la forma que se describirá adelante brevemente, fueron suficientes para los trabajos que adelantó anteriormente este Instituto y para servir de base y fundamento a la red astronómica de posiciones que realizó la Oficina de Longitudes en sus trabajos de levantamiento de la carta; pero no han podido ellos servir como punto de partida, dado la deficiencia inevitable de su determinación, para las rigurosas operaciones periódicas de longitud y de latitud que va a organizar este Observatorio, colocado muy ventajosamente para ello en los Andes ecuatoriales, y que se intenta continuar por muchos años, con el objeto de prestar a la Ciencia universal una colaboración de importancia capital en estos puntos que interesan tan grandemente a astrónomos, geodestas y geofísicos".

"Es ésta la razón fundamental de las operaciones que se han verificado últimamente para la determinación precisa de la longitud y latitud del pilar en donde se encuentra el anteojo de pasos meridianos de este Observatorio, punto de referencia para las determinaciones sucesivas que empezarán a publi-

carse anualmente, ya en folletos especiales, ya en el Anuario del Observatorio".

"Para el público científico extranjero que se ocupe de la información contenida en este folleto, no sería necesario agregar nada más a lo dicho en la presente nota explicativa; pero como es conveniente explicar a los ingenieros nacionales que no estén al corriente de estos asuntos, y al público colombiano en general, cuál es el objeto científico de la actual labor del Observatorio en las operaciones periódicas de longitud y de latitud que se han iniciado, parece oportuno historiar un poco la cuestión de los cambios de la latitud de un mismo lugar, cambios que son debidos ya a desalojamientos del polo, ya a desplazamientos locales que interesa grandemente determinar, aislándolos de los primeros".

Más adelante agrega el Director del Observatorio de Bogotá, en la exposición que copiamos en sus partes pertinentes:

"Como puede verse por lo transcrito, el problema de los desalojamientos del polo, lejos de haberse simplificado merced a los esfuerzos de la Comisión Geodésica y Geofísica Internacional, aproximándose a la solución, se ha complicado grandemente en los últimos tiempos. Por tal motivo, Walter D. Lambert, autor del escrito que se comenta (1), se ha dolido de que se hubieran reducido en número las estaciones de latitud, cuando antes bien las investigaciones presentes requieren que ellas sean tan numerosas como fuere posible".

"Cuando el señor Carnera, director de la Estación de Oncativo, rindió su informe, que en parte se transcribió atrás, las estaciones de latitud en el mundo eran: Pulkowa - latitud: 59°46' norte; Leyden - latitud: 50°9' norte; Mizusawa, Tchardjui, Carloforte y Ukiah - latitud: 39°8' norte; Cincinnati - latitud: 39°8' norte; Tokyo - latitud: 35°39' norte; Johannisburg - latitud: 26°12' sur; Bayswater latitud: 31°55' sur y Oncativo - latitud: 31°55' sur".

"Actualmente las estaciones oficiales de latitud que dependen de la Comisión Geodésica y Geofísica Internacional, son solamente las siguientes:

"Mizusawa (Japón), Tchardjui (Turkestán), Carloforte (Cerdeña), Gaithersburg (Maryland, U. S. A.); Cincinnati (Ohio, U. S. A.) y Ukiah (California, U. S. A.)".

"Estas estaciones han trabajado continuamente; pero, a pesar de ello, como lo insinuó el Director del Observatorio de Yale en 1930, todavía falta mucho por investigar en estas cuestiones, sobre todo en las regiones favorables que indica Lambert. ¿No podría, por ese motivo, realizar de ahora en adelante, una labor de importancia científica universal este Observatorio, si se dedicara a la investigación permanente de los cambios de latitud, con material apropiado y siguiendo de manera estricta los métodos más aconsejados para el efecto?"

"Y esto en lo que dice relación al gran problema de la separación de los desalojamientos periódicos del polo de su movimiento secular, pues, en cuanto

(1) "An investigation of the latitude of Ukiah (California) and the motion of the pole".

a la determinación de cambios locales de latitud por causas geológicas, la conveniencia de hacer de este Observatorio un centro de latitud salta a la vista, si se tiene en cuenta, como se dijo atrás, que en el corazón de los Andes ecuatoriales son lógicos, hasta cierto punto, los movimientos sensibles de la corteza terrestre".

"Refiriéndose a este punto dice Lambert: "No hay nada de improbable en un súbito cambio de latitud, como resultado de un terremoto. Tales cambios se sabe que ocurrieron en California durante el terremoto de 1906. La dislocación de los estratos superficiales debida a ese terremoto es, sin embargo, más pequeña que el cambio de latitud del Observatorio de Lick, aparentemente aceptado por el profesor Lawson, como probable. La mayor dislocación de los estratos deducida del terremoto de 1906 es cerca de seis metros, o sea de 0°20', y algunas son considerablemente menores, mientras que el cambio de latitud del Observatorio de Lick en 1903, aparece haber sido por último de 0°40' a 0°60' (1)".

"Con lo que va expuesto en esta introducción parece que queda demostrada la conveniencia de organizar en este Observatorio Astronómico de Bogotá una verdadera labor de investigación referente a los cambios de latitud, para que con el correr de los años y en un futuro más o menos remoto, se pueda prestar con ella un positivo servicio a la Ciencia universal".

"Así lo comprendió, desde un principio, la actual Dirección del Observatorio, y por eso no dio mayor importancia práctica a la determinación de la latitud efectuada en 1897 por Garavito, con mira más bien a ensayar su nuevo método que dedicaba a los ingenieros de la Oficina de Longitudes, que con el fin de iniciar los vastos y prolijos estudios que hoy demanda de todos los observatorios la Asociación Geodésica y Geofísica Internacional".

"Puesta en este terreno la Dirección del Observatorio no ha dudado un punto en aceptar los deberes que le imponía un concurso de esa naturaleza, y sólo se preocupó en un principio del escogimiento del mejor método que pudiera emplear en la determinación de la latitud y de la adquisición del instrumento más apropiado para ello".

"Evidentemente este método es el de Talcott, que no solamente aconseja la Comisión Geodésica y Geofísica Internacional, sino que impone la experiencia de muchos años, por encima aun de métodos excelentes, como el de alturas iguales en el primer vertical, ideado por Bessel en Koenisberg y mejorado después por Struve en Pulkowa.

"Este método del primer vertical hubiera sido aconsejable, más que el mismo de Garavito, para

(1) "There is nothing improbable in a sudden change of latitude as the result of an earthquake. Such are known to have occurred in California during the earthquake of 1906. The dislocation of surface strata due to that earthquake is, however, rather smaller than the change of latitude of Lick Observatory, apparently accepted by Prof. Lawson as not improbable. The greatest of the dislocations of strata deduced for the earthquake of 1907 is about 6 meters or 0°20', and most of them are considerably less, while change of latitude, of Lick Observatory late in 1903 seems to have been from 0°40' to 0°60'.

"An investigation of the latitude of Ukiah (California) and the motion of the pole".—Walter D. Lambert.

emplearlo con un instrumento tránsito como el que él usó, si no se presentara para ello el inconveniente de que la latitud de este Observatorio es sólo de 4°36' norte, y que así las estrellas aprovechables en tal operación quedan en una zona muy estrecha y son, por tanto, poco numerosas, además de que se presentan en condiciones poco favorables".

"Por tal motivo, especialmente, es recomendable el método de Talcott para las operaciones de latitud de este Observatorio, y así él se escogería y se impondría por sí mismo, para este caso particular, si no fueran bastantes la experiencia y la técnica universal que lo aconsejan como el más apropiado para la investigación de las variaciones de latitud, a todas las distancias de la línea equinoccial, y especialmente para los lugares próximos a esta línea".

"El método de Talcott, tan conocido y sencillo, realmente no requiere instrumental apropiado muy costoso; así, al adoptarlo definitivamente para la realización de la labor proyectada, se ha pensado en la posibilidad, para este Observatorio, de adquirir en lo futuro un instrumento tipo "Bamberg" de grandes dimensiones, o de construir el aparato que se detalla en este folleto en el Apéndice (1), mientras se usa el anteojo acodado de la Casa Heyde, que ya posee".

"Este instrumento tenía un sistema ocular micrométrico muy defectuoso y por ese motivo fue preciso sustituirlo por una escala grabada en vidrio, de división continua y bien subdividida y numerada. El valor angular de la división de esta escala se halló por medio de numerosos pasos meridianos de estrellas, colocando la pieza ocular en una posición separada 90° de la normal, para cuando el instrumento se emplea en la determinación de la latitud".

"El resultado de la sustitución apuntada ha sido muy ventajoso, como se explicará en el texto más adelante: tan ventajoso que la Dirección del Observatorio ha pensado en ordenar la construcción de un "Bamberg" de gran tamaño con escala ocular en lugar de micrómetro filar, o la fabricación del instrumento ideado con el objeto de obtener gran poder óptico separador, sin aumento considerable del costo, con aditamento de dos escalas en los oculares de los anteojos colimadores, que integran dicho instrumento, según se explica pormenorizadamente en las notas del Apéndice".

"Una vez aceptado como insustituible, en la determinación de la latitud, el método de Talcott, y arreglado convenientemente el instrumento que se iba a emplear en ello, se procedió en abril de 1933 a una primera serie de observaciones usando pares de estrellas fundamentales que se tomaron de "The American Ephemeris" de Washington, "The Nautical Almanac" de Greenwich, del "Connaissance des Temps" del Observatorio de París y del "Almanaque Náutico" de San Fernando".

"La razón para haber procedido de esa suerte se desprende de la consideración sencilla de que se trataba de iniciar un trabajo que debía estar, hasta

(1) Véase en el presente número de esta Revista el artículo titulado: "El Bitescopio de reflexión".

donde fuera posible, de acuerdo con el plan de observaciones de Garavito, quien se propuso emplear solamente dos pares de estrellas fundamentales (ϵ Eridani y ϵ Tauri - ζ Persei y ϵ Leporis) para no insistir sobre consideraciones referentes a la posición de dichas estrellas y concretarse a pesar solamente los datos instrumentales".

"Pero como este procedimiento no es aceptable cuando se trata de obtener datos de la latitud bien concretos y tomados en intervalos relativamente cortos, con el objeto de precisar las variaciones de la latitud, se resolvió optar posteriormente por el sistema de emplear gran número de pares de estrellas tomadas del "Catálogo general de Boss", del "Greenwich Second Ten Year Catalogue of 6892 Stars for 1890" y del "Catalogue of 9989 Standard and Intermediary Stars reduced without proper motion to the Equinox-1920" del Observatorio Naval de Washington".

"Para determinar estos pares de estrellas se han aceptado provisionalmente hasta las de séptima magnitud, en espera de poder conseguir con instrumental más apropiado un poder óptico mayor y emplear así estrellas hasta de la octava magnitud, lo que multiplicaría extraordinariamente el número de pares observables en una sola noche de observación".

"Por ahora sólo se refiere la presente publicación a dos series de observaciones practicadas de abril a octubre de 1933 (primera serie) y de febrero a julio de 1934 (segunda serie). Las observaciones efectuadas desde septiembre de 1934, de acuerdo con el programa indicado atrás y haciendo uso de los pares de estrellas que figuran en el texto, en el cuadro respectivo, serán objeto de publicaciones posteriores, en donde se hará notar lo acertado de los sistemas puestos en práctica por "The Coast and Geodetic Survey" de los Estados Unidos de Norte América y por el Observatorio de Tokio en el Japón a cuyas normas nos hemos sometido cuidadosamente".

"Como se verá en el texto de este trabajo, el peso de cada observación correspondiente a la primera serie, dependiente de su valor medio y su error probable, es menor que el suministrado por la segunda serie, por motivo a que a fines de octubre de 1933, se cambió el ocular Ramsdem del anteojo por otro de mayor separación. Así pudo leerse la escala micrométrica con mayor facilidad".

"Posteriormente, en las operaciones desarrolladas después de julio de 1934, se empleó un ocular de mayor poder aún, adaptado expresamente para esta clase de trabajos con el uso de la escala micrométrica, cuyo éxito depende principalmente del poder óptico del ocular y del grado de precisión de la división de la misma. Así, en la actualidad y empleando el mismo instrumento "Heyde", se llega a un peso de cada observación tan aceptable, que sobrepasa en mucho, al aceptado en el Observatorio de Tokio por el Profesor Kimura".

Entendemos que posteriormente el Observatorio

de Bogotá ha continuado con asiduidad las observaciones periódicas de latitud con el empleo de gran número de pares de estrellas y mejorando los métodos de observación.

Pasando a otro punto, diremos que mientras la Astronomía fue un problema de Geometría principalmente, y los fenómenos observados podían justificarse con métodos geocéntricos o heliocéntricos, le faltaba el carácter esencial de ciencia, y en rigor ni la grande intuición de Copérnico, ni el genio paciente de Kepler, crearon la doctrina; sólo cuando apareció la grande obra de Newton, la Astronomía dio el inmenso paso de un problema de Geometría a uno de Mecánica y se transformó en verdadera ciencia, irradiando luz meridiana los resultados admirables alcanzados por Copérnico, Kepler, Galileo y Huyghens. El instrumento preciosísimo del Cálculo infinitesimal nació en ese momento, y algunos grandes matemáticos de los siglos XVIII y XIX, lo emplearon genialmente para colocar sobre bases graníticas el difícilísimo problema de los movimientos celestes.

Los resultados fueron magníficos, y su esplendor fue tan vivo que pareció ser la Astronomía sólo un problema de Mecánica, un problema por el cual en el vacío absoluto, se hallan en juego sólo relaciones de masas animadas de un movimiento inicial y relaciones de distancias, y en realidad la Astronomía no es otra cosa que la "Física del Cosmos", de la cual forma parte esencial la teoría de los movimientos. La Mecánica de Newton y la de la Escuela clásica se diferencian en el concepto de masa, pero están acordes en establecer *a priori* el de fuerza como ente primordial y definida como causa perturbadora en el estado de movimiento o de reposo. Pero es diferente el método de tratar los principios de la Mecánica bajo formas explícitas y algo diferentes entre sí, propuesto por distinguidos físicos, principalmente de Alemania, de que eliminando el concepto primordial de fuerza se consideran como datos inmediatos las aceleraciones de los cuerpos aislados en presencia uno del otro y luego de la relación de las aceleraciones se definen las masas; así se prescinde del principio de causalidad y se reduce éste, según Kirchoff, a la descripción completa y más simple de los movimientos que se observan en la naturaleza.

Estos métodos modernos tienen ciertamente su raíz en el examen de los movimientos celestes, de los cuales hay que eliminar el concepto antropomórfico.

Newton al enunciar sus *leges motus* estableció bajo forma didáctica el concepto de fuerza, pero se muestra en varias ocasiones muy cercano al concepto moderno, como se lee en el siguiente párrafo de su "Optica".

"Las propiedades de las cosas se manifiestan, pero las causas son ocultas. Ahora bien, admitir causas ocultas impide el progreso de la Filosofía natural y por eso ello se ha abandonado. Afirmar que las manifestaciones de las cosas se deben a cualidades ocultas que obran en cierto modo y producen ciertos efectos equivale a no explicar nada. Pero

deducir dos o tres principios generales del movimiento y explicar las propiedades y las acciones de los cuerpos por medio de estos principios claros, constituye verdaderamente en Filosofía un gran progreso, aun cuando las causas de estos principios no se puedan descubrir; por tanto, yo no vacilo en proponer los principios del movimiento, que se manifiestan en la naturaleza, dejando a un lado las investigaciones de las causas".

En cambio de estas ideas decía Poincaré en "La Science et l'Hypothese": "Es mejor prever sin certeza que no prever nada, es decir, hay que contentarse con un conocimiento probable o no aceptar nada sobre él".

A principios del siglo pasado el genio matemático, por obra especialmente de Lagrange, Laplace y Gauss, llevó la teoría astronómica a una altura que no estaba en armonía con las observaciones; y así al principio de este siglo se sintió la necesidad de cálculos muy exactos.

Gauss es una de aquellas figuras que dan ejemplo de una completa armonía entre las tendencias teóricas y la habilidad en la observación y en el experimento. Veamos cómo se expresa al dar cuenta de las observaciones internacionales sobre el magnetismo terrestre:

"Un verdadero entusiasmo despierta el reconocimiento de la medida y armonía de los fenómenos a primera vista irregulares".

En una magistral conferencia en un Congreso de matemáticos Newcomb habló de la teoría de la luna. Todo cuanto podían investigar los matemáticos, los astrónomos y los calculadores sobre el movimiento de nuestro satélite se hizo en dos siglos, pero la teoría no se hallaba en condición de suministrar tablas lunas de acuerdo con las observaciones.

Aquí, si tuviéramos lugar, podríamos intercalar algo referente al estudio sobre este tema del doctor Julio Garavito A., antecesor del actual Director en la Dirección del Observatorio, estudio que sería suficiente para darle renombre a cualquier astrónomo, mucho más si, como aconteció, no tuvo nunca el ilustre matemático colombiano, apoyo oficial.

Otro de los casos de armonía entre el experimento y el cálculo es el siguiente:

Existen dos métodos para el estudio de la rigidez de la tierra; uno basado sobre la medida de la desviación de la vertical por efecto de las fuerzas de atracción debidas al sol y a la luna; y el otro sobre el alargamiento del período euleriano del movimiento del polo terrestre.

Ambos fenómenos están influenciados por la elasticidad de la tierra, y recíprocamente, una vez conocidos experimentalmente, pueden servir para determinar la elasticidad, mediante factores de reducción conexos con el fenómeno de las mareas.

En el Instituto Geodésico de Postdam, pudo el Prof. Hecker, con dos péndulos horizontales, dispuestos uno en el meridiano y el otro en el paralelo, medir las desviaciones sufridas por efecto de la atracción solar.

Algunos observatorios tienden hoy, especialmen-

te en aquellas naciones que no pueden destinar ingentes sumas a estudios tan elevados, que presuponen un gran adelanto de un país, a transformarse en laboratorios gracias a la introducción de la fotografía.

Tres grandes auxiliares ha tenido la Astrofísica, que han permitido su desarrollo: los telescopios, cada día de mayor alcance, el espectroscopio y la fotografía celeste.

Se debe al espectroscopio lo que sabemos sobre la naturaleza de las sustancias que componen los cuerpos extra-terrestres; antes sólo existía el análisis químico de los meteoros.

El descubrimiento de Niepce y Daguerre, del arte pasó a la ciencia con la intervención de la fotografía como auxiliar de la Astrofísica.

El gran porvenir que está reservado a la fotografía, si modifica integralmente los métodos, hará variar nuestras imperfectas y rudimentarias nociones sobre la constitución del universo, pero le quitará a la más espiritual de las ciencias su espléndido color artístico, dado por Flammarion y otros astrónomos, pues aleja a los observadores del cielo real y perjudica la fantasía, el sentimiento y el arte, factores admirables de la grandeza humana, porque un disco fotográfico de la luna no excita, como la visión directa, porque con el método fotográfico el hombre no observa sino adivina lo que la placa siente. Sin embargo para Poincaré el principio estético tiene gran parte en excitar la actividad matemática, y este gran sabio decía:

"Quien se dedica a las ciencias halla en ellas goces análogos a los que dan la pintura y la música; admira la delicada armonía de los números y de las formas; se extasia cuando un nuevo descubrimiento le muestra una perspectiva inesperada". "Este goce", pregunta Poincaré, "¿no tiene un carácter estético, aun cuando los sentidos no tomen parte en él?".

Y antes de Poincaré, Bertrand decía: "Quién podrá definir la belleza, la elegancia y, con menos dificultad, la importancia de un teorema de Geometría?".

La belleza no se explica, ni se discute; este es el primero y el solo fundamento de la estética.

La Astronomía de precisión en las observaciones empieza hacia la mitad del siglo XVIII, con Bradley.

El creador de la Astrofísica es Guillermo Herschel, quien dio la primera resolución aproximada de la dirección del sistema solar en el espacio. Lagrange, el gran analista, decía que Newton era el más grande de los genios que haya existido, pero también el más afortunado, porque por una sola vez se descubre el verdadero sistema del mundo.

La lucha con el universo para que revele sus misterios de origen y finalidad es apenas un deseo vehemente. Para satisfacer el hombre algún día la razón de las cosas, tendrá que comprender que existen para ello barreras insuperables, dependientes de su limitada constitución cerebral, más que de la falta o imperfección de los elementos de que dispone.