

## **MEDIDAS DE ARCOS DE MERIDIANO**

**Por: FRANCISCO ANDRADE S.**

*Artículo del Boletín de la  
Sociedad Geográfica de Colombia  
Números 71-72, Volumen XIX  
Segundo semestres de 1961*

**L**a Geodesia es una ciencia hija de la Astronomía, y solamente pudo obtener resultados precisos cuando el perfeccionamiento de los estudios de la Astronomía le dio la base firme para obtener resultados exactos. La ciencia es una interpretación de los hechos, ellos por sí mismos no nos pueden llevar al conocimiento de la verdad.

Los hechos en un principio eran apreciados únicamente por medio de los sentidos. Pero los hombres de estudio, cuya capacidad mental les permitía avanzar más allá del hombre común, al notar que en sus observaciones encontraban anomalías que no podían explicar, se empeñaban en buscar soluciones, y para ello hubieron de apelar a su entidad interior, e imaginaron realidades ficticias, para tratar de encontrar la explicación de las anomalías observadas, y si hallaban esa solución por medio de sus imaginarias suposiciones, regresaban nuevamente a los hechos, y en esa forma llegaban a explicarse tales anomalías. Este proceso ha tenido vigencia en casi todos los pueblos, y su conocimiento ha llegado hasta nosotros, en gran parte envuelto en el mito y la leyenda. Esa ha sido la historia de las investigaciones realizadas por chinos, egipcios, caldeas y demás pueblos de la antigüedad. Más cercanos a nuestra era cristiana existieron la Escuela Jónica, fundada por Thales de Mileto, luego Platón, Aristóteles <sup>1</sup> y todos los de la Escuela Griega, siguiendo con los egipcios helenizados de la escuela de Alejandría, y al principio de nuestra era cristiana sostuvo el divido fuego Tolomeo.

Aceptada la idea de que la tierra era de forma esférica, lógicamente surgió en la mente de los estudiosos cuál pudiera ser la manera de determinar las exactas dimensiones de esa esfera. Un poco

entre la historia y la leyenda nos ha llegado la tradición de que un Emperador chino, Fu-Hi, cuya existencia se localiza alrededor del año de 3468 <sup>2</sup> antes de Cristo, fue quien inventó el símbolo de los ocho signos, relacionados con el cielo, la tierra, el rayo, las montañas, el fuego, las nubes, las aguas y el viento, y también fue el primero que dictó leyes, que según las tradiciones chinas, las copió del dorso de un dragón que surgió del fondo de un lago. Ching-Nung, uno de los sucesores de Fu-Hi, tiene entre las realizaciones llevadas a cabo durante su reinado, una que no es tan pueril como la del origen de las leyes, y tiene gran interés para el asunto de que nos ocupamos, pues se cuenta que midió la extensión de la tierra y la realizó recorriéndola en dos direcciones: una siguiendo el movimiento del sol, obteniendo el valor de 90.000 Li, y la otra de Norte a Sur, hallando que en este sentido la tierra tenía únicamente 85.000 Li. El valor de un Li era, aproximadamente, un décimo de legua, o sea, 500 metros. Es decir, en un sentido tenía la tierra 45.000 kilómetros y en el otro 42.500, valores muy aproximados a la realidad, pero lo que es admirable en esta tradición es que parece que tuvieron conocimiento del aplanamiento de la tierra en la dirección de los polos, lo que sugiere la idea de que desde un tiempo muy remoto existían conocimientos bastante precisos sobre forma y dimensiones de la tierra. De todas estas investigaciones, indiscutiblemente, las más importantes fueron las hechas por los griegos, quienes según "todos los que han procurado estudiar a fondo su espíritu, tenían íntimo convencimiento de que la tarea humana no consistía simplemente en vivir y dejarse llevar por el tiempo, sino más bien en superar y vencer la existencia corporal mediante una vida del espíritu, es decir, que cualquiera actividad espiritual, ya sea impulsada por un ideal político, artístico o abstractamente científico, da pleno sentido a la vida por sí mismo. En manos de los griegos la Matemática se transformó de una simple ayuda de cálculo en la auténtica reina de las ciencias, y a eso obedeció que Platón en la puerta de su academia pusiera esta inscripción: "Nadie entre a este recinto sin dominar la Geometría" <sup>3</sup>.

Dice Heath, según varios escritores, el mejor conocedor de las matemáticas griegas, lo siguiente:

"Poseían ante todo un amor a la sabiduría por sí misma, enraizado al instinto y rayano en la pasión. Tenían un gran amor a la verdad y decisión para ver las cosas como ellas son. Una notable aptitud para la exacta observación. Recogían celosamente información de todas partes y en particular de Egipto y Babilonia, lo que analizaban con un certero instinto, para retener lo que era digno de conservar y desechar el resto. Eternamente perdura la fama de que ellos fueron los que, entre la confusa y múltiple maraña de conocimientos exactos e ideas supersticiosas que componían la sabiduría sacerdotal de Oriente, supieron descubrir y utilizar los elementos científicamente serios, eliminando todos los desatinos fantásticos, y todo esto acompañado de un genio especulativo jamás igualado en la Historia Universal".

En dos o tres siglos la matemática griega alcanzó la más alta cumbre. Genios, que cada uno hubiera definido una época, aparecieron simultáneamente en competencia, oscureciéndose los unos a los

otros. Pero así como fue de rápido el crecimiento, también fue acelerada la depresión, y el marasmo que invadió a la humanidad necesitó dejar pasar veinte siglos para que el pensamiento matemático volviera de nuevo a la precisión e intensidad que alcanzó en la Hélade.

No es pertinente a estas cortas anotaciones tratar de enumerar los diversos escalones ascendentes de los conocimientos astronómicos ; creemos suficiente para que se tenga idea del verdadero adelanto en la materia y sobre todo de las investigaciones que se hicieron para procurar determinar la forma y dimensiones de la tierra entre los griegos, referirnos a los trabajos de Eratóstenes <sup>5</sup> (276 a 195 a. de C.), uno de los egipcios helenizados, quien en Alejandría, usando una paciencia y cuidado maravillosos, logró obtener datos verdaderamente desconcertantes en cuanto aproximación a la exactitud. Era astrónomo, matemático y el primer hombre que pudo merecer justamente el título de geógrafo.

Nació en Cirene en 276 antes de Cristo. En el año de 235 a. de C. fue nombrado guarda de la Biblioteca de Alejandría, y allí realizó su mayor hazaña, que consistió en obtener un valor muy aproximado a las dimensiones de la tierra. Para lograrlo estudió cuidadosamente la posición relativa de Alejandría y la de un pequeño pueblo situado al Sur, muy próximo al Trópico de Cáncer, llamado hoy Syene y antes Assuam. Un obelisco que había en Alejandría situado en el mismo meridiano en que estaba un pozo profundo de Syene le sirvieron de punto de referencia para poder medir la distancia zenital del sol al paso por el meridiano en Syene el día 21 de junio, o sea, en el solsticio de verano; la imagen del sol se proyectaba en el agua que estaba en el fondo del pozo, al pasar el astro por el meridiano. En su observatorio de Alejandría midió la distancia zenital al momento del medio día, obteniendo un ángulo de  $7^{\circ}1/5$ , y siendo la distancia entre el pozo y el obelisco de 500 millas, bastante aproximada. Como  $7^{\circ}1/5$  es la cincuentava parte de  $360^{\circ}$ , luego si multiplicaba  $50' \times 500$ , que era la distancia entre el pozo y el obelisco, obtenía 25.000 millas como valor de la longitud de la circunferencia terrestre, o sea 40.000 kilómetros. Es decir, un valor muy aproximado, siendo tan deficientes los medios empleados. Esto lógicamente parte del supuesto que la tierra sea una esfera perfecta.

Posidonio, tratando de medir la diferencia de latitud entre Rodas y Alejandría, que también están más o menos en el mismo meridiano, y a una distancia de 5.000 estadios, usó un sistema análogo al de Eratóstenes, pues pudo anotar que la estrella Canopus al pasar por el meridiano de Alejandría y observada desde esa ciudad se elevaba sobre el horizonte a  $7^{\circ} 30'$ , y en Rodas el mismo día y a la misma hora se veía tangente el horizonte, por lo tanto el arco de meridiano que pasaba por Rodas y Alejandría tenía un ángulo al centro de  $7^{\circ} 30'$ , lo que daba 664 estadios para la longitud del grado;

ahora si la unidad usada por Eratóstenes era la misma de Posidonio, el valor obtenido por Posidonio era un tanto menor <sup>6</sup>.

Los árabes y los chinos hicieron observaciones viajando a través del desierto recorriendo un mismo meridiano, y por la diferencia de las alturas del Polo sobre el horizonte, deducidas de la observación de la Estrella Polar, encontraron también valores para el grado de Meridiano.

Durante el reinado de Isabel la Católica escribió Nebrija su Cosmografía, la que fue muy notable en su tiempo, e hizo cálculos especiales para tratar de comprobar los datos de Tolomeo, fundándose en algunos monumentos dejados por los Romanos en Extra madura y en el camino de La Plata, entre Mérida y Salamanca. En Francia también fueron hechas las medidas del arco de meridiano por Fernel, Casisni y otros.

En Inglaterra se aplicó un sistema análogo, midiendo cuidadosamente la altura del monte Edegecumbe, situado cerca de Plymouth y obteniendo con bastante precisión el ángulo que formaba el horizonte con la visual tangente a la superficie del mar. Esta observación estaba afectada de las variaciones que produce la refracción y que solamente después se pudieron calcular cuidadosamente. La observación considerando este error dio un valor de 6.373 kilómetros, lo que es para el radio terrestre bastante aproximado <sup>7</sup>.

Posteriormente se usó un método más apropiado, o sea, midiendo una distancia sobre la tierra con mucha aproximación por medio de una triangulación, resultado que se completaba con observaciones astronómicas de mucha precisión que daban coordenadas geográficas de los extremos de la línea medida. Este sistema parece que el primero que lo usó, fue Snellius en Holanda en 1615. Cincuenta años más tarde Picard, en Francia, contando con mejores medios, pues ideó la retícula de hilos cruzados, con lo que obtuvo mayor precisión en la medida de los ángulos. Picard midió la distancia desde cerca de París hasta Amiens, obteniendo para el grado una longitud de 111.212 metros, convirtiendo las toesas en metros, muy ajustado a la verdad. Fundándose en estos trabajos de Picard, Newton pudo establecer la Ley de Gravitación Universal en su libro titulado "Principia", publicado en 1687. En esta obra sostenía la teoría de que la tierra era un esferoide aplanado en los polos y que la intensidad de la gravitación debía ser menor en el Ecuador que en los polos. Newton tuvo como base para estas deducciones las observaciones hechas en Cayena (Guayana Francesa) por Richer. Los trabajos de Richer tenían por principal objeto determinar las variaciones en la longitud del péndulo para marcar segundos, y llegó a la conclusión de que era  $1 + \frac{1}{4}$  de línea, más corta en Cayena que en París, fenómeno confirmado por Halley, Varin y otros <sup>8</sup>.

Con estos trabajos se obtuvieron deducciones diferentes, pues unos sostenían que la tierra era aplanada hacia los polos y los otros que era alargada. Entonces la Academia de Ciencias de París resolvió ordenar la medición de precisión de un arco de un grado de meridiano en el Ecuador y otro en el Círculo Polar, para lo cual se envió una comisión hacia el Norte integrada por Maupertius, Clairaut, Camus, Le Monier, el abate Outhier y Celsius, profesor de astronomía en Upsal, para medir un arco de meridiano en Laponia. En julio de 1736 esta comisión desembarcó en Tornea, una ciudad situada en la desembocadura del río del mismo nombre, y al explorar este río se pudieron dar cuenta de que su curso seguía casi con precisión la dirección Norte-Sur y que en ambas riberas había elevadas montañas, circunstancias muy favorables para los trabajos geodésicos, los que desarrollaron con un gran cuidado y de los cuales obtuvieron resultados satisfactorios, dadas las dificultades que presentaba la determinación de la longitud que entonces se hacía por transportes cronométricos, que implicaban largas y delicadas operaciones. Las medidas de las bases se hicieron con la que se llamó la Toesa del Norte, de las cuales se fabricaron cinco que fueron patronadas cuidadosamente. De estas mismas toesas recibió una La Condamine, como más adelante se dirá. La longitud del grado de meridiano que corta el círculo polar fue determinada en 57.437.9 toesas, o sea 111.948.6 metros.

Estas medidas hechas por Maupertius fueron repetidas en 1801 por el astrónomo sueco J. Svanberg, usando más o menos los mismos vértices pero no exactamente los mismos extremos; por lo tanto la diferencia de 429 metros (220 toesas) posiblemente no fue error sino variación de los extremos usados.

Simultáneamente con estos trabajos se desarrollaron los de medición del arco que cruza la línea Equinoccial, los cuales fueron confiados a Godin, Bouguer y La Condamine, quienes auxiliados por Jorge Juan y Antonio de Ulloa, por parte de España, realizaron la medida de un arco de meridiano que cruzaba la línea ecuatorial. Era Juan un marino muy connotado y un científico de gran importancia que dio mucho lustre a la Marina Española. Fue enviado a Inglaterra para estudiar las mejoras introducidas en la marina de aquel país, y a su vuelta a España propuso innovaciones que mejoraron los servicios españoles, y algunas de ellas fueron también adoptadas en la misma Inglaterra. Ulloa era también notable marino. Al solicitar el Rey de Francia permiso para realizar los trabajos en los dominios del Español, aunque tanto Juan como Ulloa eran muy jóvenes, el primero apenas tenía veintiún años, el segundo era aún menor, pues apenas contaba con diez y nueve años, sin embargo, eran muy capaces de desempeñar lucidamente su tarea. Los franceses en un principio dijeron que el Rey de España les había dado por compañeros unos pigmeos, pero una vez que tuvieron ocasión de conocerlos a fondo declararon que eran unos verdaderos gigantes. El monarca español les confirió una graduación alta como para que pudieran actuar hombro a hombro con los sabios y técnicos franceses.

La Condamine en un principio siguió la carrera de las armas, pero muy pronto la abandonó y tomó un puesto de ayudante en la Academia de Ciencias. Su laboriosidad, inteligencia y vastos conocimientos lo candidatizaron para tomar parte en la comisión que debía viajar al Ecuador. En este viaje demostró mucha sagacidad y gran valor. Estaba dotado de una curiosidad insaciable y de un gran acopio de conocimientos científicos. Ya de regreso a este viaje y de otro que emprendió por su propia cuenta en 1760 fue recibido en la Academia Francesa.

Pedro Bouguer era un astrónomo francés quien también fue designado para acompañar a La Condamine en este viaje a que se está haciendo referencia. Era marino y notable astrónomo, y para dar idea de su capacidad científica, es suficiente hacer relación a algunos de sus trabajos: escribió en 1729 un tratado sobre Óptica. En 1731 otro sobre la Manera de Observar la Declinación de la Brújula en el Mar, y como resultado de este viaje un estudio sobre la Figura de la Tierra, publicado en 1749, en colaboración con La Condamine. Inventó un aparato especial por medio del cual se pueden medir los ángulos con mucha precisión. Observó la desviación que la atracción de las montañas produce sobre el péndulo, y fue un precursor de la Fotogrametría.

El otro compañero de La Condamine en esta expedición fue Godin, también astrónomo, pero con mucha frecuencia es confundido con Juan Godin des Odonais, un lingüista y etnógrafo que concurrió a esta expedición acompañando a su pariente el astrónomo. El lingüista vivió treinta y ocho años en América, y contrajo matrimonio en Riobamba, con una dama descendiente de familias francesas, establecidas en esa ciudad y muy adineradas. En especulaciones descabelladas disipó Godin la fortuna de su mujer, y en 1749 bajó por el Amazonas y desde Cayena, adonde fue a parar, propuso al Ministro francés Choiseul un plan para establecer la libre navegación en el Amazonas. Estos tres sabios salieron de La Rochela en 1735 y se reunieron en Cartagena con Jorge Juan y Antonio de Ulloa. Continuaron su viaje hacia el Perú por Porto-Belo y Panamá, en donde embarcaron en dirección al Sur, llegando al Callao y Lima. Posteriormente emprendieron su viaje hacia el Norte y llegaron hasta Quito. Allí pudieron darse cuenta de que el valle en donde se halla la ciudad de Quito se desarrolla más o menos en dirección Norte-Sur, valle que está formado por una doble cadena de montañas que son los dos ramales en que se divide allí la Cordillera de los Andes, y que corren aproximadamente paralelas. Este dispositivo se prolonga más o menos desde Cuenca, en el Sur, hasta cerca de la frontera de Colombia. Estas montañas presentan grandes alturas, lo cual es muy favorable para la localización de estaciones trigonométricas, pero en cambio impone un pesado trabajo para la ascensión a los diferentes puntos.

Por esta especial disposición se logró conseguir una magnífica forma de los triángulos, aproximándolos mucho al equilátero, que es el que da mayores garantías para esta clase de trabajos, lo cual ha sido muy difícil de conseguir en otras localidades.

La cadena de triángulos terminaba en dos bases, la una al Norte y la otra al Sur. La del Norte tenía una longitud de 7.6 millas y estaba a una altura de 7.850 pies sobre el nivel del mar. Siendo esta la menor altura de toda la extensión en que se desarrollaron los trabajos. Siete vértices estaban a alturas mayores de 14.000 pies. La base Sur superaba en altura a la Norte en unos 1.000 pies, y su longitud era de 6.4 millas. Esta última tuvo la ventaja de que se desarrolló en terreno plano, y en su medición se invirtieron 10 días; en cambio en la septentrional, que quedaba en terreno escabroso, se emplearon 25 días. Las bases se midieron con reglas que tenían 20 pies de largo con sus extremos defendidos con láminas de cobre para hacer lo más perfecto posible el contacto, y se hicieron dos medidas simultáneas en sentido contrario, y en las diferencias de nivel se hacía coincidir las reglas por medio de una plomada cuyo hilo era una fibra de áloe, siendo las reglas patronadas diariamente con una toesa marcada sobre una regla de hierro, la que permanecía en una tienda defendida de la intemperie. Este patrón había sido fijado con la toesa tipo, traída directamente de Francia, la cual, después, con el nombre de toesa del Perú, fue adoptada como marco legal en Francia, y fue devuelta a París, para comparada y estar seguros de que no había sufrido alteración. Esa nueva toesa fue llevada por Maupertius a Laponia. Las dos bases fueron medidas a una temperatura de grados Reaumur, que era la temperatura a que estaba sometida cuando se fabricaron en París. La diferencia entre la medida directa de las bases y la calculada por medio de la triangulación dio menos de 3". Los ángulos en los vértices fueron observados con cuadrantes de dos y de tres pies de radio, aparatos bastante imperfectos, lo que impuso una difícil tarea de control de errores, tanto de división como de excentricidades. A pesar de estas complicaciones las observaciones se hicieron con tanto cuidado que habiendo leído todos los ángulos en los tres vértices, solamente en cuatro de los treinta y tres puntos observados llegó el error a 10". En cada vértice se hacía la lectura lo menos por dos personas. El azimut lo determinaron por medio de veinte observaciones del sol, hechas en distintas estaciones a lo largo de toda la red de triángulos. Las observaciones de latitud también se hicieron con mucho cuidado, invirtiendo varios años en realizadas. El arco de meridiano medido por esta Comisión, después de diversas reducciones y correcciones, tuvo una amplitud de  $3^{\circ} 7' - 3''$ . 12 lo que daba para la longitud del grado de meridiano 56.753 toesas, o sea 110.613.7 metros.

Los resultados obtenidos por esta Comisión fueron publicados en Francia por Bouguer, en 1749, con el título de "La Figure de la Terre". En España en el año de 1773 fue publicada la memoria de Jorge Juan y Antonio de Ulloa, con el título de "Observaciones astronómicas y físicas hechas de orden de S.

M. en los Reinos del Perú". Los cálculos de todos estos trabajos fueron posteriormente revisados por Von Zach, quien encontró que la amplitud del arco era de  $3^{\circ} 7' 3''$ . 79, y la latitud de Tarqui también fue modificada por Delambre <sup>9</sup>.

En el año de 1790 la Asamblea Constituyente Francesa, por medio de un decreto de fecha 8 de mayo, encargó a la Academia de Ciencias para que organizara un sistema de pesas y medidas. La comisión nombrada por la Asamblea, quizá tratando de seguir la antigua tradición que se atribuía a los sacerdotes egipcios, quienes tomaron para la fijación del patrón de sus medidas una unidad llamada el Codo Sagrado, que tenía como base la longitud del radio de la Tierra, resolvió aconsejar que se tomara como base una medida relacionada con la naturaleza, prefiriendo que fuera con las medidas de la tierra y que esta medida fuera la diez millonésima parte del cuadrante del meridiano del globo terrestre. Para realizar esa labor se recomendó a Delambre y Merchain, quienes procedieron a medir un arco de meridiano entre Dunquerque y Monjuich, una eminencia que se halla cerca de Barcelona. Este meridiano fue prolongado posteriormente por Arago y Biot, hasta Formentera. Se encontró como valor de la dimensión del cuadrante terrestre 5.130.740 toesas, lo que daba para el metro el valor de  $0.3'-0''$ . 344 líneas. Este valor se obtuvo haciendo la corrección de un error que encontró Bessel, revisando los cálculos.

Con estos resultados se construyó el metro patrón en platino, el cual reposa en París. Fueron verificadas medidas en diversos lugares del globo, y se encontraban valores que cambiaban estos resultados en pequeñísimas cantidades, pero que podían, con el tiempo, producir serias dificultades. Tomó la iniciativa para normalizar estas dificultades la Asociación Geodésica Internacional, y en una conferencia reunida en 1867 resolvió aprobar diez recomendaciones, en las que solicitaba la adopción de un nuevo prototipo de medida, cuyo valor difiriera de la ya adoptada, en la cantidad más pequeña que fuera posible. Entonces la Academia de Ciencias de San Petersburgo pidió al Zar que convocara a todos los Estados europeos para realizar esta labor urgente de unificación. Napoleón III aceptó lo propuesto, y en los primeros meses de 1870 se verificó la reunión cuyas sesiones se prolongaron hasta 1872. En ella se aceptaron las indicaciones de la Asociación Geodésica y se ordenó la construcción del nuevo patrón tanto del metro como del kilogramo, para lo cual se constituyó una comisión especial para realizar estos trabajos, comisión que fue presidida por el General Ibáñez, delegado de España, quien siguió presidiéndola hasta su muerte, contribuyendo dicho General, muy eficazmente, al éxito de las labores. Se ordenó la organización de una Oficina Internacional, la construcción de 30 ejemplares del metro patrón y otros tantos del kilogramo de platino irradiado, que comparados entre sí y con el patrón original, el que menos difirió de éste, se adoptó. La diferencia fue solamente de 600 milésimos de milímetros con signo negativo; por lo tanto la definición del metro no es la

diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre, sino la distancia comprendida entre los dos reparos de una barra en X construida en platino irradiado, que reposa en los archivos de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, la cual tiene su residencia en París <sup>10</sup>.

Recientes observaciones han demostrado que reacciones que se efectúan dentro de la masa del metro patrón le han producido variaciones, y parece que según los últimos estudios la longitud del metro patrón va a ser fijada por medios electrónicos.

La disposición con relación al metro patrón se ve claramente que fue muy sabia, pues dado el perfeccionamiento de los métodos de medidas se necesitaría estar modificándolo frecuentemente. Actualmente se está anunciando un aparato llamado "Electrotape", o sea cinta electrónica, que funciona a base de radar. Un aparato se coloca en un vértice y otro en aquel cuya distancia se quiere obtener, y trabaja por medio de un intercambio de señales, y así se obtiene la distancia entre los dos puntos. La propaganda de la casa fabricante, que es la Cubic Corporation, de San Diego, California, anuncia que se pueden medir cincuenta millas en cinco minutos, con una precisión desconcertante<sup>11</sup>. Esto hubiera hecho modificar el metro patrón si no se hubiera adoptado la medida antes anunciada.

No terminaremos sin hacer alusión a la nueva medida que se hizo a principios de este siglo del grado de meridiano en el Ecuador. En los años de 1899 a 1906 fue enviada al Ecuador una comisión formada por los Capitanes franceses Maurain y Lacombe, los cuales primeramente recorrieron el Ecuador de un extremo a otro para indicar las condiciones en las cuales se podría realizar nuevamente la medición del arco de meridiano en esa región, o sea cortando la línea equinoccial. En vista de este informe la Academia resolvió llevar a cabo el trabajo, y una vez conseguida la apropiación presupuestal correspondiente, a fines de 1900 salieron de Francia. La misión estaba compuesta por cuatro Oficiales, quince Suboficiales y el correspondiente personal de tropa. El material necesario pesaba más de 20.000 kilos. El día 1° de junio de 1901 desembarcaron en Guayaquil.

La primera dificultad que tuvieron que vencer los comisionados fue el transporte tanto de personal como de material desde Guayaquil hacia el interior del país en donde se iban a desarrollar los trabajos. Estaba muy lejos, en ese tiempo, la terminación del ferrocarril entre Guayaquil y Quito. Ya una vez establecidos, procedieron a medir tres bases: una en Riobamba, más o menos en el centro de la triangulación; la otra al Norte, en Tulcán, ya cerca a la frontera con Colombia, y la otra en Paita, un pequeño puerto del Perú, muy cercano a la frontera con el Ecuador. Las dificultades para el desarrollo del trabajo fueron más o menos las mismas que tuvo que vencer La Condamine en el siglo XVIII. Las condiciones climáticas no tenían razón de haber cambiado; en las vías de transporte no se había

presentado ninguna mejora considerable. Las dificultades con el personal nativo eran las mismas. Para tener una idea de las grandes dificultades que presentan los fenómenos atmosféricos en esa región, veamos lo que informaban con relación a uno de los vértices. La estación se llamaba el cerro Pelado. Situado a una altura sobre el nivel del mar de 4.149 metros. Fue necesario ocuparla en dos oportunidades, como con un año de diferencia.

Veamos el informe de las observaciones meteorológicas realizadas en ese punto: se tomaron seis veces al día durante 82 días. La temperatura oscilaba entre  $1^{\circ}$  y  $+ 10^{\circ}$ , y en la mayoría del tiempo se sostenía por debajo de  $+ 5^{\circ}$ . El viento soplaba sin cesar del Este, con una velocidad media de 54 kilómetros por hora. De estos 82 días, 71 fueron de lluvia. La nebulosidad se mantenía entre 10 y 8. La cima del cerro, o sea el punto en donde estaba localizada la estación, permanecía casi constantemente envuelto en nubes. Lógicamente la labor era verdaderamente agobiadora. Desde que amanecía, el observador debía pasar al pie del instrumento, esperando un claro en la oscuridad para tratar de observar los otros vértices. Esta situación sostenida durante meses y aun años, en medio de completa soledad causaba lógicamente un enervamiento, que destruía la resistencia física y moral de los observadores. La expedición que, según se pensaba, debía gastar en su trabajo tres años tuvo que prolongar sus trabajos hasta julio de 1906, es decir, más de seis años.

Los miembros de esta expedición no se contentaron simplemente con acopiar los datos para los cálculos astronómicos y de triangulación, sino que hicieron, además, levantamientos topográficos de detalle, observaciones magnéticas, meteorológicas, acumularon importantes datos de Historia Natural, de Antropología, de Etnografía, de Geología, etc. Entre el personal había hombres de mucha importancia científica como el General Bourgeois, el General Perrier y el Profesor Rivet.

Como se vio antes, la cadena de triángulos estaba apoyada en tres bases y compuesta por 74 estaciones. Para las observaciones astronómicas se adoptó un error, media de la media de  $2''$  I/2. La medida de las bases también fue hecha con suma precisión, dando  $1/90.000$  en la Norte y  $1/320.000$  en la Sur, característica, para esta red geodésica, que la colocó a la altura de los mejores trabajos modernos.

Una cosa semejante a lo dicho con relación al metro se puede afirmar con relación a los trabajos geodésicos. Primeramente se adoptaron los parámetros de Clarke, para el elipsoide, y sometidos a ellos se elaboró el trabajo en los Estados Unidos de América para su red geodésica. Posteriormente fueron aprobados, en 1922, los parámetros del Elipsoide Internacional de Hayford y se elaboraron las tablas por el General Perrier <sup>12</sup>. No era posible que los trabajos, ya elaborados, se modificaran para

adoptarlos a los nuevos valores del elipsoide. Las diferencias no afectan gravemente y se ha establecido la relación precisa, matemática, entre unos y otros. Posiblemente con los nuevos métodos de medidas para los triángulos geodésicos se llegue a fijar nuevos parámetros, pero esto no implica novedades de importancia, y siempre se podrán relacionar los unos con los otros.

\*\*\*

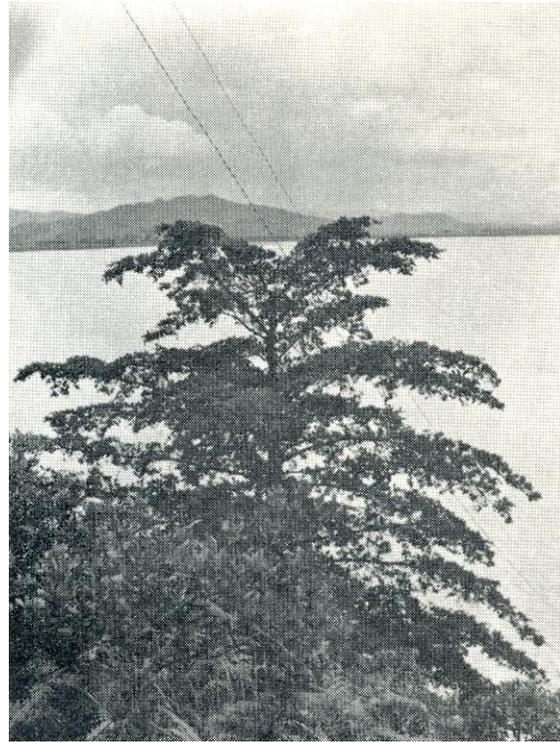
Ya terminada la elaboración del presente escrito, llegó a mis manos un número de la revista llamada "Informaciones Exclusivas", en la cual apareció un artículo relacionado con el Sistema Métrico, y, por lo tanto, me pareció de gran interés adjuntar al presente escrito una copia completa de tal artículo.

(Véase al final de esta entrega).

#### **BIBLIOGRAFIA**

- 1 *Vida de los filósofos más ilustres*. Diógenes Laercio. Madrid, 1912.
- 2 *China*, M. G. Pauthier. Barcelona, 1845.
- 3 *La vida en Grecia*. Will Durant. Buenos Aires, 1952.
- 4 *Greek Mathematics*. Sir T. Hesthe. Oxford, 1921.
- 5 *Eratóstenes*. Lipsett. Science Digest. 1954.
- 6 *La magia de los números*. Paul Karkson. Editorial Labor. 1955.
- 7 *Historia de la astronomía*. Giorgio Abetti. Buenos Aires, 1956.
- 8 *Noticias secretas de América*. Jorge Juan y Antonio de Ulloa. Buenos Aires, 1956.
- 9 *Geodesia*. A. R. Clark. Madrid, 1910.
- 10 *Manual de metrología*. G. Obregón. Bogotá, 1956.
- 11 *Civil Engineering*. Nov. 1960 (A. S. of G. E.).
- 12 *"Petite histoire de la Geodesie"*. Georges Perrière. Presses Universitaires de France. Paris, 1939.

Son numerosos los paisajes de suma belleza en los alrededores de la laguna de Fúquene y en ella misma. Por muchas razones fue escogido ese punto para la construcción del Observatorio Magnético.



Alrededor del Observatorio Magnético de Fúquene son perceptibles los caracteres de aquella región de Colombia, dotada con larga mano por la naturaleza.



Sencillas y rústicos senderos enmarcan las aguas de la laguna de Fúquene y sirven diariamente en sus labores a los vecinos de la región.

La paz de los campos aledaños a la laguna de Fúquene permite observar al propio tiempo la fertilidad de la tierra colombiana.

