

INSTITUTO DE FRANCIA.

ACADEMIA DE CIENCIAS.

Extracto de los "*Comptes-Rendus*" de las Sesiones de la Academia  
de Ciencias (Sesión del 23 de Julio de 1900).

---

INFORME

SOBRE

EL PROYECTO DE REVISION DEL ARCO MERIDIANO DE QUITO

POR M. H. POINCARÉ.



QUITO

IMPRENTA NACIONAL.

1901



# INSTITUTO DE FRANCIA

## ACADEMIA DE CIENCIAS

*Extracto de los "Comptes-Rendus" de las  
Sesiones de la Academia de Ciencias*

(SESION DEL 23 DE JULIO DE 1900)

---

### INFORME

SOBRE EL PROYECTO DE REVISION DEL ARCO MERIDIANO DE QUITO

por M. H. POINCARÉ

---

**E**N oficio de 21 de Junio de 1900, el Sr. Ministro de Instrucción Pública de Francia incitó á la Academia de Ciencias, para que diese su dictamen sobre el proyecto de revisión del arco meridiano de Quito, suplicándole examinara el programa científico propuesto para el efecto, lo discutiera y le remitiera sus observaciones. La Academia sometió el asunto á una Comisión compuesta de las secciones de Geometría, de Astronomía y de Geografía y Navegación.

CÚMPLEME resumir en el presente Informe el resultado del detenido estudio hecho por esta Comisión.

RECORDEMOS en pocas palabras la parte histórica de la cuestión.

AL principio del siglo pasado, la teoría de Newton, que afirmaba el achatamiento del Globo terrestre, estuvo sometida á acaloradas controversias, á las cuales sólo podía poner término la observación directa. Era menester medir dos arcos de meridiano en diferentes latitudes.

A Francia, y muy particularmente á la antigua Academia de Ciencias, es á quien toca el honor de haber llevado á cabo tan difícil operación. En 1735 y los años subsiguientes, se midió un arco en el Ecuador por Godin, Lacondamine y Bouguer, y otro en Laponia por Maupertuis y Clairaut.

REVISADA la meridiana de Francia en 1739 por Cassini de Thury y Lacaille, lo fue nuevamente en 1790 por Delambre y Méchain, cuando se estableció el sistema métrico. Esta operación, emprendida en condiciones de precisión ignoradas hasta entonces, se prolongó luego sobre el territorio español.

DE la comparación de estos tres arcos, medidos el uno cerca del ecuador, el otro cerca del círculo polar y el tercero en latitudes medias, se dedujo el primer valor bastante aproximado del achatamiento.

HASTA entonces, la Geodesia era, en cierto modo, una ciencia exclusivamente francesa; pero, en la primera mitad del siglo XIX, por lo contrario, tomó gran desarrollo sobre todo en el extranjero. No solamente se emprendieron numerosas mediciones, sino que los métodos se perfeccionaron, debido á los trabajos de Gauss, Bessel, Airy y Clarke.

NUESTRO deplorado General Perrier es quien volvió á Francia la preeminencia que por un momento parecía haber perdido. Bien se sabe con cuántos esfuerzos logró conseguir la junción geodésica de España con Argelia. Por los ingeniosos métodos que había creado, procedió á una nueva revisión de la meridiana de Francia, la cual conexionándose por una parte con los trabajos ingleses, por otra con los trabajos españoles y los de la Argelia, nos presenta ahora una red que se extiende sin interrupción del Norte de Escocia al desierto de Sahara,

LAS triangulaciones extranjeras y las del General Perrier han obligado á modificar el valor adoptado para el achatamiento. Entre los numerosos datos que hoy se poseen, he aquí los principales:

EL arco anglo-francés, de  $28^{\circ}$ , de Laghouat ( $32^{\circ}$  de latitud N.) á las Islas Shetland ( $60^{\circ}$  N.);

EL arco ruso, de  $25^{\circ}$ , entre el Danubio ( $45^{\circ}$  N.) y el Océano Glacial ( $70^{\circ}$  N.);

EL arco índico, de  $24^{\circ}$ , entre  $8^{\circ}$  y  $32^{\circ}$  de latitud N.;

EL arco norteamericano del Atlántico, entre  $32$  y  $45^{\circ}$  N.;

EL arco norteamericano del Pacífico, entre  $30$  y  $40^{\circ}$  N.;

ADEMÁS varios arcos de paralelos, particularmente:

EL arco europeo de Valentia á Omsk, á  $52^{\circ}$  de latitud;

EL arco norteamericano entre los dos Océanos, á  $38^{\circ}$  de latitud;

EL arco que atraviesa el Hindostán, á  $24^{\circ}$  de latitud.

ES de notar que casi todos estos arcos se encuentran en latitudes medias. En el hemisferio Sur, no poseemos más que el arco de  $7^{\circ}$  de la Colonia del Cabo, y en las latitudes ecuatoriales y polares, casi nada se ha añadido á las determinaciones del siglo XVIII.

HÁLLASE aquí un vacío digno de lamentarse, porque las antiguas mediciones, por señaladas en precisión que fueron en su tiempo, no pueden ni con mucho sostener parangón con las modernas.

ESTA situación ha llamado, hace mucho tiempo, la atención de la *Asociación Geodésica*. A todos, pues, se imponía la necesidad de nuevas medidas para comprobar y corregir las de Lacondamine y Maupertuis.

UNA expedición ruso-sueca partió á Spitzberg, y ha principiado ya la determinación de un arco de  $4$  á  $5^{\circ}$  llamado á reemplazar el de Maupertuis.

QUEDABA por revisarse el arco del Ecuador. En el Con-

greso de la *Asociación Internacional Geodésica*, en 1889, M. Davidson, delegado de los Estados Unidos, llamó en este asunto la atención de sus colegas. Reconociendo los derechos que dan á Francia los gloriosos recuerdos del siglo XVIII, manifestó que si el Gobierno francés no quería reivindicarlos, el *Geodetic Survey* de los Estados Unidos podría encargarse de la operación.

CLARO está que el Gobierno francés de entonces creyó indeclinable tal invitación. Por otra parte, encontró un apoyo sólido tanto en la Academia de Ciencias como en el Gobierno Ecuatoriano. Negociaciones se entablaron al efecto, por medio del Sr. Antonio Flores, Ministro del Ecuador en París; pero en el momento del arreglo definitivo, surgieron graves acontecimientos políticos en el Ecuador, circunstancia que obligó á aplazar el proyecto.

EN 1898, la situación política se había mejorado en Quito; llamado á la Presidencia el Sr. General Alfaro, se podía contar con su apoyo muy decidido.

FUE aún un delegado americano, M. Preston, quien, en la Conferencia de Stuttgart, volvió á poner la cuestión ante la *Asociación Geodésica*: una vez más, reconoció los derechos de Francia.

EL Gobierno francés comprendió la necesidad de una pronta solución. En efecto, era de temerse que si vacilaba, la operación sería emprendida por el *Geodetic Survey* americano ó por la *Asociación Internacional*, y que así se arrebatara á Francia el honor de esta empresa. Por otro lado, era de desearse que las mediciones se iniciaran por completo antes de la expiración del período presidencial del Señor General Alfaro, para aprovechar de las excelentes disposiciones de su Gobierno.

DE acuerdo con el parecer de la Comisión geodésica francesa, el Sr. Ministro de Instrucción Pública se puso al habla con el Sr. Ministro de Guerra, para acordar los medios de ejecución.

NO era posible que la Misión principal se embarcase, con todo su material tan embarazoso, para un país en gran parte mal conocido, antes de que un previo reconocimiento hubiese evidenciado la posibilidad de la empresa, y fijado los medios de llevarla á cima.

EL Sr. Ministro de Instrucción Pública asignó la cantidad de 20.000 francos, tomada sobre el crédito de las Misiones, y confió esta difícil exploración á dos Oficiales del *Servicio Geográfico del Ejército*, los Capitanes Maurain y Lacombe.

SALIERON de Burdeos el 26 de Mayo de 1899, y el 13 de Julio llegaron á Quito. El Señor Presidente de la República y todos los Miembros de su Gobierno los acogieron con extrema benevolencia, y no omitieron medio alguno para facilitarles el cumplimiento de su misión.

EN treinta días, los Capitanes Maurain y Lacombe recorrieron las Cordilleras hasta el Cerro de Pasto, en territorio colombiano, añadiendo á la antigua triangulación, diez estaciones geodésicas, una astronómica, y fijando una nueva base. Exploraron luego la región del Sur de Quito, determinaron dos bases más, la última en territorio peruano, y quince estaciones geodésicas sobre las de los Académicos franceses.

DE este modo, la antigua meridiana se hallará prolongada de 1° hacia el Norte, y de 2° al Sur, más ó menos.

LOS Oficiales se reembarcaron en Guayaquil el 25 de Noviembre.

LOS gastos totales de la expedición ascendieron á 35.000 fr., de los cuales 15.000 fueron erogados por el Gobierno del Ecuador.

ES sorprendente la rapidez con que se verificó este reconocimiento. Si se considera que los comisionados tuvieron que recorrer 3.500 km., en un país muy abrupto, y hacer más de treinta ascensiones á una de las sierras más elevadas del Globo, se formará así cabal concepto del celo é intrepidez que mostraron para llevar en cuatro meses su tarea á buen término. Tan infatigable actividad les arrancó los aplausos y la admiración del Sr. General Alfaro.

ES de justicia proclamar que tan prontos resultados pudieron obtenerse sólo merced á la sostenida buena voluntad de todos los agentes del Gobierno Ecuatoriano.

LOS croquis levantados por los Sres. Maurain y Lacombe atestiguan el cuidado con que desempeñaron su cometido. Las

inmediaciones de cada estación y de cada base fueron el objeto de un levantamiento topográfico sucinto, acompañado de medidas angulares al rededor del horizonte. Estos p'anos suministrarán todos los datos que necesite la Misión definitiva

TAL trabajo honra altamente á los Capitanes Maurain y Lacombe, y demuestra lo que puede esperarse de los Oficiales del Servicio Geográfico.

CON vista del informe de los dos intrépidos exploradores, el Sr. Ministro de Instrucción Pública se convenció de la posibilidad de la operación, y pidió el dictamen de la Academia de Ciencias.

ESTE dictamen no podía ser dudoso en el fondo, y salta á la vista el interés científico de la determinación proyectada. Todas las corporaciones científicas, la Academia misma, el "*Bureau des Longitudes*", la *Asociación Geodésica francesa*, la *Asociación Internacional Geodésica*, han emitido ya su parecer sobre este punto, y he mencionado más arriba los fundamentos de su opinión: son de tal evidencia estas razones que no hay necesidad de insistir en ellas.

PERO, además del interés científico, esta empresa presenta para nosotros los franceses un verdadero interés nacional. Si nuestro país se debe á sí mismo el terciar en las conquistas de la Ciencia moderna, con mucho mayor razón no puede abandonar una posición sobre la cual los esfuerzos de nuestros antepasados izaron, por decirlo así, el pabellón intelectual de la Francia. Públicamente han sido reconocidos nuestros derechos. ¿Corresponderíamos á tan galantes invitaciones por una confesión de impotencia? La Francia se encuentra hoy con tanta vitalidad y con mayor riqueza que ahora ciento cincuenta años. ¿Por qué abandonaría á pueblos adolescentes, en cierto modo, el cuidado de terminar lo que ella inició gloriosamente?

SI tales razones son convincentes para todo francés, deben aún impresionar con mayor fuerza á los Miembros de nuestra Compañía, ya que la antigua Academia de Ciencias, cuyos herederos somos, fue la que cumplió la obra de 1735, y estos recuerdos, gloriosos para todos, lo son mucho más aún para nosotros.

EL Sr. Ministro no ha tenido menor empeño en reconocer los derechos de la Academia:

“NO puedo olvidar, dice en su Oficio, que la obra que se trata de realizar es la continuación de la que cumplieron, en el siglo pasado, los miembros de la antigua Academia de Ciencias. La presente comunicación no tiene, pues, solamente por objeto participaros algunos datos en una empresa que no dejará de interesaros vivamente, sino que también yo querría, al poner la nueva operación bajo el alto patrocinio científico de vuestra ilustre Compañía, pedir el concurso de sus luces”.

¿CÓMO se ejercerá el alto patrocinio de que habla el Oficio ministerial? Claro es que no debe ser puramente nominal, sino que implica una comprobación efectiva de las operaciones.

¿CONVENDRÍA hacer más? Algunos lo propusieron desde 1889, opinando que la Academia debía aceptar por completo la herencia de Bouguer y Lacondamine, y mandar al Ecuador uno de sus Miembros para que dirigiese por sí mismo las operaciones.

ESTA proposición no le pareció aceptable á la actual Comisión:

EN efecto, en el tiempo de Lacondamine, todo estaba por crearse; hoy, por lo contrario, todo se halla organizado, y no se comprendería que se vacilara en servirse de la admirable organización que existe.

EN operaciones de esta clase, la alta competencia científica; la misma destreza técnica y los hábitos de escrupulosa regularidad; son cualidades indispensables, pero no suficientes. Es menester, además, poder soportar grandes fatigas, en yermos, bajo toda clase de climas; es preciso saber manejar hombres, obtener obediencia de sus colaboradores é imponerla á los auxiliares semicivilizados á quienes hay que ocupar forzosamente.

TODAS estas cualidades intelectuales, morales y físicas se encuentran reunidas, en alto grado, en los Oficiales de nuestro Servicio Geográfico. Que estas cualidades distingan á otras corporaciones científicas ó aun á simples hombres de ciencia, no podemos negarlo, como lo probaron en el siglo XVIII los Académicos, en un tiempo de mayores dificultades.

PERO, en fin, existe un cuerpo idóneo para este trabajo; no

estamos seguros de encontrar en otra parte tanta competencia, pero sí de no hallarla superior.

EN ninguna parte, se encontrarían esa cohesión, esa costumbre de trabajar conjuntamente con los mismos métodos, esa disciplina, en fin, que permite obrar con prontitud y sin vacilación.

NO insistiremos para hacer resaltar la economía considerable que se realizará empleando un personal militar. Mas sí conviene hacer notar que la operación que va á emprenderse no es aislada; que es un detalle en un gran conjunto; que este conjunto debe tener homogeneidad para que los varios elementos sean comparables, y que importa mucho, por consiguiente, que el nuevo trabajo se ejecute por el mismo Cuerpo, con los mismos métodos é instrumentos que para la gran meridiana de Francia.

POR otra parte, la Academia no abdica ninguno de sus derechos, confiando esta tarea al Servicio Geográfico. Este Cuerpo conserva la tradición de los métodos que son el fruto de la labor de nuestros antecesores; y, como depositario de esta herencia, no es para nosotros un extraño. Así lo ha comprendido siempre la Academia, abriendo sus puertas al Jefe de este Servicio. El Director actual, el Sr. General Bassot, es uno de nuestros Colegas; no vacilaría en trasladarse á Quito, en cualquier período de las operaciones, si lo juzgare necesario la Academia, y apreciaríamos en su justo valor los servicios que podría prestar. Pero, aunque el General Bassot no efectuase este viaje, en todo caso este ilustre Colega dirigiría á los Oficiales, sus subordinados.

LA Academia tendrá el deber de comprobación científica, examinando los registros de las observaciones y de los cálculos; para lo cual, podrá nombrar una Comisión especial.

ENTREMOS en el examen de los pormenores del proyecto.



## MEDIDA DE LAS BASES

SE medirán tres bases, cada una de 8.500 metros, poco más ó menos. La principal estará situada en la mitad del arco, cerca de Riobamba, á  $1^{\circ},5$  de latitud Sur, y á una altitud de 2.500 m.

DOS bases de comprobación se establecerán cerca de las extremidades del arco: una al Norte, cerca de Cumbal, en territorio colombiano; ótra, al Sur, entre Quirós y Sullana, en territorio peruano.

IMPORTA que las medidas se efectúen con el mismo instrumento que sirvió para la meridiana de Francia. No solamente este aparato ha dado pruebas de su bondad, sino que deben ser comparables los resultados, y no lo serían si se operase con instrumentos nuevos (sin perjuicio de abastecerse de aparatos de reserva para el caso de algún accidente).

TIEMPOS hace que están estudiándose aleaciones de hierro y níquel de muy poca dilatación. Es posible que estas aleaciones, debidas á M. Guillaume, presten en el porvenir grandes servicios en la medida de las bases. Pero, hasta ahora, sus propiedades están todavía mal conocidas, y no lo estarán bien sino después de largos y difíciles experimentos.

SE ha propuesto, no el substituir las reglas de metal Guillaume á las reglas bimetálicas, sino el llevar al Ecuador los aparatos de ambos sistemas, para hacer en cada base medidas comparativas. La Comisión no adoptó esta proposición; sería en realidad ingerir sobre la medida del arco de Quito las experiencias sobre el valor de la nueva regla. Estas experiencias son necesarias, y ellas se efectuarán; pero vale más que se hagan independientemente. Hechas en Francia, costarán menos y se podrá más fácilmente consagrarles el tiempo necesario.



## MEDIDA DE LOS ANGULOS

EL territorio de la República del Ecuador, sobre el cual se va á operar, se divide en una serie de zonas de altitudes diferentes, que son, partiendo del Océano Pacífico: 1º una llanura baja; 2º la cadena de las Cordilleras occidentales; 3º la meseta de Quito; 4º la cadena de las Cordilleras orientales; 5º la llanura de los altos afluentes del Amazonas.

LAS dos cadenas tienen una altitud general de 4.000 á 4.500 metros, sobre la cual se levantan varios picos, generalmente volcánicos, que llegan y aun exceden á 6.000 metros. La altitud media de la meseta es de 2.500 metros.

SIN embargo, tanto las cadenas como la meseta se deprimen notablemente hacia el Sur.

LA llanura del Pacífico queda á la altitud de 300 á 400 metros; hasta las primeras pendientes de las Cordilleras; del mismo modo, la llanura del Amazonas principia bruscamente al pie de las Cordilleras orientales, con una altitud media de 500 metros.

LA anchura de estas diferentes zonas es naturalmente muy variable.

EN la latitud de la base principal, la llanura del Pacífico tiene una anchura de cerca de 180 kilómetros; la vertiente occidental (desde los primeros escarpes hasta la cumbre), 45 kilómetros; la meseta (entre las dos cumbres), 50 kilómetros; la vertiente oriental (de la cumbre á la llanura), 25 kilómetros.

MÁS al Sur, las dos cadenas se acercan al Océano. Por otra parte, la Costa presenta una escotadura profunda que forma el Golfo de Guayaquil.

POR estas razones se disminuye la amplitud de la llanura occidental. Esta circunstancia permitirá prolongar la triangulación hasta el mar.

LA configuración del terreno imponía, por decirlo así, el plan general de la triangulación.

SE construirán dos series de estaciones, unas en la cadena occidental, sea sobre la cumbre, sea sobre los flancos de las montañas, ótras sobre la cadena oriental. Las estaciones serán cincuen-

ta y dos, de las cuales veintiocho pertenecen á la red de Bouguer y Lacondamine.

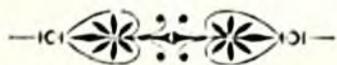
A menudo, su altitud alcanzará á 4.000 metros. Los lados de los triángulos tendrán de 30 á 40 kilómetros.

LA red de los triángulos seguirá pues la dirección general de las Cordilleras, y como esta dirección no es exactamente Norte-Sur, la red se inclinará también respecto del meridiano, de tal manera que la diferencia de longitud de ambas extremidades será algo menos de 3 grados.

EN la parte Sur del Golfo de Guayaquil, las alturas se acercan bastante á la Costa; y así se puede unir á la triangulación general un punto situado en la orilla del mar donde se encuentra un antiguo faro (Isla de Jambelí).

LAS operaciones se verificarán de la siguiente manera: los Oficiales de la Misión se dividirán en dos brigadas; la una se trasladará de estación en estación en la Cordillera occidental, mientras que la otra hará otro tanto en la Cordillera oriental. Se comprende que ambas brigadas marcharán paralelamente, de tal manera que queden siempre la una en frente de la otra.

POR otra parte, la experiencia ha demostrado que es imposible en aquel país construir señales, pues serían destruidas por los indios. Será necesario emplear los helióstatos. En consecuencia, cada brigada estará acompañada de dos postas servidos por suboficiales ó soldados franceses, entendidos en telegrafía óptica. Cuando los observadores se instalen en una estación, uno de los postas ocupará la estación anterior de la misma cadena, y el otro la estación siguiente, de manera que puedan entenderse con los Oficiales.



## ASTRONOMIA FUNDAMENTAL



LOS tres elementos astronómicos fundamentales, es decir, latitud, longitud y azimut, se determinarán con el mayor cuidado en tres estaciones, la primera en Quito, hacia la mitad del arco, y á  $1^{\circ},5$  más ó menos al Norte de la base principal, y las otras dos á poca distancia de las bases extremas.

QUITO posee un Observatorio provisto de buenos instrumentos. El Gobierno francés ha puesto á la disposición del Gobierno Ecuatoriano, por un período de cinco años, á uno de nuestros más hábiles astrónomos, M. Gonnessiat, del Observatorio de Lyon. Este sabio ha tomado ya la dirección del Observatorio de Quito.

ESTA combinación, tan feliz desde el punto de vista de la influencia exterior de la Francia, se ha realizado por la munificencia de dos donatarios anónimos, y me es grato ahora aprovechar de esta oportunidad para tributar homenaje á su generosa idea.

EN todo caso, esta circunstancia facilitará singularmente las operaciones de la Misión. Al mismo tiempo que los Oficiales operen en las estaciones extremas, M. Gonnessiat hará observaciones simultáneas en Quito. Esta simultaneidad, tan indispensable para las operaciones de longitud, será también preciosísima para la medida de la latitud, y nos dará á conocer las diferencias de latitud con gran exactitud.



## LONGITUDES

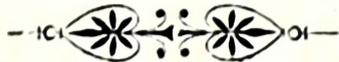
EL telégrafo une ahora á Quito con Guayaquil y con un punto muy cercano á la estación astronómica del Norte. Entre Quito y Guayaquil, hay un *relais* telegráfico, y otro entre Quito y la estación del Norte. Pero será fácil suprimirlos, empleando un número suficiente de pilas.

HACIA el Sur, el telégrafo se extiende menos lejos y termina á gran distancia de la estación astronómica; pero actualmente se trabaja para prolongar la línea, y es seguro que cuando se la necesite se la podrá conexas con la estación Sur.

LAS diferencias de longitud entre Quito y las dos estaciones astronómicas principales, y entre Quito y Guayaquil, podrán así determinarse sin *relais*, esto es, con gran precisión.

GUAYAQUIL se comunica por cables submarinos con la red

telegráfica general; se podrá pues conocer su diferencia de longitud con Norte-América. En este caso, el empleo del *relais* será inevitable.



## ASTRONOMIA SECUNDARIA

ADemás de las tres estaciones astronómicas principales, se establecerán seis más secundarias, en donde se medirán latitudes diferenciales y azimuts secundarios. Estas estaciones se distribuirán aproximadamente de grado en grado.

ÚNA de ellas, Chuyuj, está cerca de la base principal.



## NIVELACIONES

DEBIENDO la longitud de las bases reducirse al nivel del mar, importa muchísimo determinar exactamente su altitud.

OBTENDREMOS la de la base central por una nivelación geométrica de precisión, con los métodos inventados por M. Lallemand y empleados en la nivelación general de Francia; estos métodos son muy conocidos de los Oficiales del Servicio Geográfico, quienes los practicaron en Argelia.

LA nivelación se ejecutará á lo largo de la línea del ferrocarril de Guayaquil á Quito.

EL nivel del mar se determinará por medio de un medimarémetro. No se ha creído conveniente establecer este aparato en Guayaquil. En efecto, este puerto se encuentra en el fondo de una bahía larga y estrecha que desemboca en el mismo golfo de Guayaquil; era pues de temerse que hubiese alguna diferencia en-

tre el nivel medio del puerto y el de alta mar. Por este motivo, el medimarómetro se colocará en Playas, en la costa misma del Pacífico, antes de la entrada del golfo y á 70 km. de Guayaquil.

LA línea de nivelación, desde el medimarómetro hasta la base, tendrá un desarrollo de 280 km. De Playas á Guayaquil y de este punto al Puente de Chimbo, esto es, en 170 km., la altitud crece lentamente hasta 345 m. De Chimbo á Sibambe, en donde la línea de nivelación se une con la cadena trigonométrica, en 35 km., se asciende rápidamente de 345 m. á 2 470 m. En lo restante de la vía, de Sibambe á la base, la altura, aunque grande, se mantiene casi constante.

NO es posible unir por una operación semejante las dos bases extremas con el Océano. Fuerza será aprovechar los datos de la nivelación geodésica, midiendo en cada estación la distancia zenital de la estación opuesta. Siempre que esto fuere posible, se procederá por medidas recíprocas y simultáneas; así se eliminará la refracción geodésica y podrán estudiarse sus leyes.

TÉNGASE presente, sin embargo, que siguiendo siempre una de las brigadas la Cordillera occidental, y la otra la oriental, la nivelación geodésica no podría prolongarse de una á otra base por *medidas recíprocas y simultáneas*, sino á lo largo de una línea en *zigzag*, que pase alternativamente de una Cordillera á la otra.

NO estamos muy seguros de que estas medidas simultáneas puedan hacerse sin dificultad y sin pérdida de tiempo. En todo caso, serán siempre recíprocas, y quedará suficiente la precisión.

EN efecto, por la comparación de las medidas hechas en Francia y Argelia, la incertidumbre es sólo de algunos metros, lo que traería en la longitud de la base reducida al nivel del mar, un error relativo de  $\frac{1}{1000000}$ , más ó menos. Ahora bien la concordancia de las bases calculadas con las bases medidas no se comprueba, por lo general, en mayor escala; y si á veces se ha encontrado  $\frac{1}{300000}$ , quizá por efecto de compensaciones fortuitas entre los errores, no se debe contar más que con una aproximación de  $\frac{1}{100000}$ .



## OBSERVACIONES DEL PÉNDULO

AS medidas de gravedad son siempre el complemento obligado de las operaciones geodésicas; pero hay una razón, de que luégo hablaremos, y que en el presente caso les da aún más importancia.

LA comarca en donde se va á operar es úna de las más elevadas del globo, y el inmenso relieve de los Andes induciría á creer que se producen allí atracciones suplementarias capaces de causar anomalías en la gravedad y una protuberancia local del *geoide*, ó sea en la superficie del mar prolonga lo idealmente bajo los continentes. Esta protuberancia, así como las desviaciones de la vertical en las extremidades del arco, son de tal naturaleza que podrían afectar gravemente el resultado.

HABRÍA en esto una objeción fundada contra la elección de esta meridiana, si las observaciones del péndulo no nos suministrasen precisamente un medio de reconocer aquellas anomalías, valuar los errores que resultan y corregirlos si fuere necesario.

EL proyecto prevee siete ú ocho medidas de la pesantez dispuestas en la sección transversal que parte de la costa, hacia Guayaquil, pasa al pie del Chimborazo, y llega á la vertiente oriental del macizo Cotopáxi—Antisana.

DE aquí resultarán evidentemente valiosísimas indicaciones, puesto que así se verá cómo varía la gravedad desde la costa hasta el pie y luégo hasta la cumbre de la cordillera occidental, y por fin hasta la mesa interandina; además se evidenciarán las anomalías debidas á los dos macizos más altos, Chimborazo y Cotopaxi.

NO basta esto, empero: sería necesario multiplicar aún las estaciones; no se aumentarían los gastos si se tuviera cuidado de combinar el plan de las operaciones para evitar maniobras inútiles.

ES preciso medir la intensidad de la pesantez á lo largo de la red para averiguar sus variaciones de una base á ótra. Se podría

por ejemplo, practicar medidas en cada una de las estaciones astronómicas y en la vecindad de las bases. También habría mayor interés en poseer datos sobre los valores de la gravedad en la llanura que se extiende al oriente de los Andes. Efectivamente, la intumescencia general del geoide no depende únicamente de la intensidad de la pesantez en las inmediaciones del punto donde se la quiere medir, sino también en las comarcas algo más retiradas.

POR desgracia, esta llanura es de difícil exploración, y la posibilidad de tal expedición se decidirá en el lugar mismo. Además se verá después si los recursos alcanzan para emprenderla.

AL contrario, la estación del medimarómetro se prestará fácilmente para la observación del péndulo; pues es posible que la influencia de los Andes se perciba en Guayaquil, y que se note alguna diferencia entre las dos estaciones.

TODAS estas medidas se ejecutarán con el péndulo *relativo* del Coronel Defforges. Las determinaciones relativas bastan para nuestro objeto; pues el transporte del péndulo *absoluto* presentaría grandes dificultades.



## OBSERVACIONES MAGNÉTICAS.

AS observaciones magnéticas tienen conexión menos directa con los trabajos geodésicos. Sin embargo, se aprovechará el viaje de la Misión para determinar los tres elementos magnéticos absolutos: declinación, inclinación y componente horizontal, por lo menos en las nueve estaciones astronómicas.

ANTES del embarque, los Oficiales se ejercitarán en el manejo de los instrumentos, bajo la dirección muy competente d. M. Moureaux, en el observatorio magnético del Parc-Saint-Maure



## OBSERVACIONES GEOLOGICAS Y TOPOGRAFICAS

ES indispensable corregir las latitudes observadas de las desviaciones locales de la vertical, para lo cual hay que calcular la atracción particular de los macizos más próximos á los lugares de observación. Análoga corrección deberá aplicarse á las medidas pendularias. Pues, será preciso efectuar, con una escala suficiente, un levantamiento topográfico de aquellos macizos para conocer su volumen, y un estudio geológico de las rocas que los constituyen para determinar su densidad.

HUBO miembro de la Comisión que propuso se eligiese como médico de la Misión á un sabio idóneo en petrografía y geología. No opinó la mayoría en este sentido.

SI se puede encontrar en el médico militar adjunto á la Misión conocimientos zoológicos y botánicos, lo que sería muy deseable, no hay muchas probabilidades de hallar entre los médicos civiles un geólogo competente. Toca á los Oficiales mismos, preparados por sus investigaciones anteriores, el encargarse del estudio petrográfico de los terrenos.

PUES lo mejor es que algunos miembros de la Misión vayan al *Museum* á ejercitarse, bajo la muy esclarecida dirección de M. Fouqué ó de M. Lacroix, en las determinaciones petrográficas y en la elección juiciosa de las muestras.



## EXTENSION DEL ARCO

OS queda que tratar de dos importantes cuestiones. La primera fue sugerida por el Oficio ministerial. “No obstante, dice el Sr. Ministro, ha de considerarse que los gastos se reducirían mucho, si fuera posible sin inconveniente científico, reducir el

arco, previsto de  $6^{\circ}$ , á  $4^{\circ},5$ , desde la base de Colombia hasta la base de Tarqui; así se suprimiría la parte más ardua de los trabajos. Suplico á la Academia me dé su opinión respecto de la amplitud del arco, y me diga si piensa que la medida de un arco de  $4^{\circ},5$  correspondería suficientemente á las necesidades de la Ciencia".

EL arco medido en el siglo XVIII se extendía desde Mira, á  $0^{\circ} 35'$  Norte, hasta Tarqui, á  $3^{\circ} 10'$  Sur, por consiguiente en  $3^{\circ},5$ . Se trata ahora de prolongarlo al Norte hasta el cerro de Pasto, á  $1^{\circ} 12'$  Norte, sea de tres cuartos de grado, y al Sur hasta territorio peruano, á  $4^{\circ} 55'$  Sur, sea de  $1^{\circ} 5'$  más ó menos.

LA proposición transcrita tendería, pues, á suprimir la prolongación hacia el Sur, lo que reduciría el arco á  $4^{\circ},5$ .

NÓTESE primeramente que este arco debe compararse con otros de mucha mayor amplitud (unos  $20^{\circ}$ ) tomados en las latitudes medias. He citado ya los más importantes. Ojalá que el valor de la nueva determinación tuviese un peso comparable.

AHORA, es evidente que este peso será tanto mayor cuanto más amplitud tenga el arco. Efectivamente, el error principal radica en la incertidumbre sobre las latitudes extremas, con motivo de las atracciones locales que pueden desviar la vertical. En igualdad de circunstancias, esta desviación, y por consiguiente esta incertidumbre, son independientes de la amplitud del arco, de modo que el error relativo variará en razón inversa de esta amplitud.

ASÍ, reduciendo el arco de  $6^{\circ}$  á  $4^{\circ},5$ , se reduciría de un cuarto su valor científico; aunque en realidad no se pueden expresar por números apreciaciones de esta clase. Cuando una medida se duplica en precisión ¿es verdad que sólo se duplica su valor científico? Todos los sabios contestarán que la progresión crece más rápida, y que para obtener precisión doble, deben gastar más del doble de esfuerzos, sin que tengan de arrepentirse de ello.

POR otra parte, varios miembros de la Academia opinaron que, no pudiendo disminuirse los gastos generales, la reducción del arco no produciría más economía que la sexta parte del total.

PERO un examen más detenido del presupuesto hace ver que es demasiado exagerada tal valuación.

NO habría economía alguna ni en la medida de las bases, ni en las indemnidades para la entrada en campaña, ni en el transporte del personal y del material de Francia á América, ni en la nivelación de precisión, ni en la compra de mulas.

AUNQUE se desistiera de unir la triangulación con el mar no se realizaría, á lo sumo, más que una economía de 35.000 fr.

ESTA cifra, bien que exagerada, basta para dar razón de por qué la Comisión estuvo unánime en pensar que el arco debe extenderse sobre 6 grados.



## PROTUBERANCIA DEL GEOIDE

A segunda cuestión se refiere á la intumescencia del Geoide que podría producir la atracción de la mole de los Andes. M. Hatt, en las sesiones de la Comisión, ha insistido repetidas veces sobre las dificultades que pueden presentarse por este lado.

PUES ¿cuál es la importancia probable ó posible de esta protuberancia? Algunos la han fijado á 150 m. Si se calcula la atracción de una masa cilíndrica de 3.000 m. de altura y de 150 km. de diámetro, suponiéndole una densidad igual á la mitad de la densidad de la Tierra, se halla un máximum de 50 m. Este resultado podría aumentarse, y talvez duplicarse, para la cadena de los Andes, que no está reducida á un macizo circular, sino que se extiende á lo largo de la Costa del Pacífico.

PERO conviene tener en cuenta la distribución probable de las masas internas. Se sabe que las observaciones pendularias han puesto en evidencia, en las comarcas montañosas, un hecho de los más curiosos. Los valores observados son siempre deficientes respecto de los calculados por la fórmula de Bouguer; mientras que concuerdan bastante bien con otra fórmula, debida á M. Faye, en la que se desprecia por completo la atracción de los macizos montañosos.

ESTE hecho inesperado, sobre el cual M. Faye ha llamado muchas veces la atención de los sabios, manifiesta que la atrac-

ción de los macizos aparentes se compensa, en gran parte, por la distribución interna de las masas; tanto que, si fuese rigurosamente exacta la fórmula de M. Faye, no habría inflamiento alguno en el geoide.

ASÍ sucede, más ó menos, en los Alpes y en el Himalaya. ¿Acontecerá lo mismo en los Andes? Las diferencias de estructura estratigráfica y de constitución litológica no nos permiten afirmarlo. Sólo la observación decidirá.

VEAMOS ahora qué consecuencias arrastraría esta protuberancia en los resultados de las medidas.

PARA mayor claridad, debemos distinguir tres superficies:

1.<sup>a</sup> EL *elipsoide de revolución* que se acerca más á la forma de la Tierra;

2.<sup>a</sup> EL *geoide verdadero*, esto es la superficie de equilibrio de las aguas tranquilas bajo la influencia de la fuerza centrífuga y de la atracción de todas las masas, tanto aparentes como internas;

3.<sup>a</sup> EL *geoide corregido*, es decir la figura de equilibrio que tomarían las mismas aguas tranquilas si se suprimieran algunos de los más aparentes macizos.

ES claro que el geoide corregido, cuya definición es en cierto modo algo arbitraria, difiere muy poco del geoide verdadero, pero presenta menor número de pequeñas irregularidades locales.

EL teorema de Legendre y Gauss prueba que nuestras medidas darán exactamente la longitud de un arco de meridiano del geoide verdadero (ó del geoide corregido, si las atracciones locales se han calculado convenientemente), con la única condición de que la base haya sido correctamente reducida al nivel del mar, ó sea del geoide.

¿HASTA qué punto se realizará esta condición? Con motivo de la gran altitud de la base, no lo será sin ciertas precauciones. Si se considera el ángulo de la normal al geoide con la normal al elipsoide, y si varía este ángulo de 1'' entre las dos extremidades de la base, es fácil calcular que el error en la reducción de la base será algo más de un centímetro.

PERO si se obtiene así exactamente la curvatura de cierto arco del geoide, no es seguro que esta curvatura no se aparte notablemente de la del elipsoide. Puede suceder que se tomen medidas sobre una protuberancia local del geoide, y que la curvatura sea allí distinta de la que se encontraría en otro punto poco distante del mismo geoide, en las orillas del Pacífico, por ejemplo.

IMPORTA mucho precaverse contra error semejante, lo que no podrá lograrse, sino investigando el inflamiento del geoide. ¿Qué medios nos da para esto la observación?

HAY dos: el primero, la observación del péndulo. Es el menos costoso y el más seguro, porque se puede multiplicar las medidas; pero con la condición de que las estaciones de observación sean bastante numerosas para darnos una idea aproximada de las variaciones de la gravedad en toda la región explorada.

SIN embargo, este primer medio no debe hacer olvidar el segundo, si se reconociere últimamente practicable y económico. Consiste este segundo medio en la medida de la diferencia de longitud astronómica entre un punto de la Costa y Quito, y su comparación con la diferencia de longitud geodésica.

ES de toda evidencia que de esto se podrá deducir, sino la intumescencia absoluta del geoide, por lo menos su diferencia entre Quito y la Costa.

SE necesita pues encontrar sobre el litoral un punto cuyas longitudes astronómica y geodésica se puedan tomar á la vez. Guayaquil se halla en comunicación telegráfica con Quito; es posible pues determinar su longitud astronómica. Por otro lado, el antiguo faro, al sur del Golfo, se unirá con la red trigonométrica, y así se tendrá conocida su longitud geodésica.

AL contrario, no se puede conocer ni la longitud astronómica del antiguo Faro, por falta de telégrafo, ni la longitud geodésica de Guayaquil, porque la llanura entre esta ciudad y las Cordilleras es uniforme, poblada de árboles, y tiene horizonte muy limitado.

PERO, por fortuna, hay en el golfo de Guayaquil la isla Puná en donde se encuentran algunas colinas, que talvez se podrían connexionar con la triangulación. Es de esperarse, por otra parte, que

de aquí á poco el telégrafo se prolongue hasta Puná. Entonces sería posible la medida de ambas clases de longitudes.



## CONCLUSIONES

**N** resumen, la Comisión os propone:

1º **EMITIR** un dictamen favorable al proyecto de revisión de la meridiana de Quito;

2º **INSISTIR** ante el Sr. Ministro en que el arco medido sea de 6º y no de 4º,5;

3º **MANIFESTAR** el deseo de que la operación se confie al Servicio Geográfico del Ejército, bajo el alto patrocinio y la comprobación científica de la Academia de Ciencias;

4º **NOMBRAR** una Comisión permanente encargada de seguir y comprobar las operaciones de la Misión;

5º **APROBAR** en sus rasgos generales el proyecto á nos sometido, con la reserva de las consideraciones emitidas en el presente Informe, particularmente las que se refieren á la necesidad de multiplicar las observaciones del péndulo.



**DESPUÉS** de una discusión secreta, la Academia adopta las conclusiones del Informe.

