



la "Revista de Bogotá," a fin de que en ella consten sus obras completas. Al mismo tiempo hemos iniciado la "Galería biográfica de Colombia," donde insertaremos la biografía de CÁLDAS, escrita por su discípulo don Lino de Pombo, i en dicha *Galería* se encontrarán tambien obras de CÁLDAS—las biografías del jeneral Cabal i de Mútis.

No dudamos que todos los amantes de la literatura i de las ciencias verán con placer la edicion completa del que era eminente en ambas, pues la pluma de aquel sabio era privilegiada en todo.

(De la "Revista de Bogotá.")

Ensayo de una memoria sobre un nuevo método de medir las montañas por medio del termómetro i el agua hirviendo, seguida de un apéndice. Por don Francisco José de Cálidas.

1. En un pequeño viaje (1) que hicimos al volcan de Puracé, distante cinco leguas al E. de Popayan, por reconocer sus bocas, elevacion, término de la nieve permanente en esta latitud, muchas vertientes de aguas minerales, i plantas; no tuve acontecimiento mas feliz que romper un termómetro por la estremitad del tubo. Sí: este fué el fruto mas precioso de esta expedicion, porque él fué la causa de que naciesen en mi alma ideas que de otro modo nunca se habrian exitado.

2. Restituido a Popayan sin mas termómetro que el que acababa de romper, con el dolor de ver interrumpida una serie de observaciones comenzadas, traté de hacer útil lo que me quedaba de este instrumento. El término del hielo, me decia, aunque ha quedado invariable, es preciso que baje a causa del mercurio, que se ha de derramar cuando le hierva; pero nosotros gozamos de la nieve todo el año, i es fácil obtener el término inferior de mi escala. En mis primeras reflexiones creí que el calor del agua hirviendo me daria con igual seguridad el término superior. Sin profundizar mas sobre la verdad de estos principios, tomo agua de lluvia con precaucion, la hiervo, sumerjo mi termómetro, dejo que evacue todo el mercurio superabundante, le cierro, i creo tener un extremo de mi nueva escala. Hago venir nieve, la machaco, i envuelvo en ella la bola del termómetro: señalo el punto en que se detiene, i pienso que no faltaba ya otra cosa, que dividir el espacio contenido entre estos dos puntos en 80 partes, si queria la escala de Réaumur, i en 180, si la de Fahrenheit. Pongo en ejecucion mi pensamiento, hallo unos grados demasiado pequeños, comparados con los que tenia el termómetro ántes de romperse. El calor de la atmósfera de Popayan, tan conocido para mí por mis anteriores obser-

(1) El autor de este viaje fué don Antonio Arboleda, jóven de luzes, i amante de los conocimientos útiles. Nos acompañó don Juan José Hurtado, a quien anima igual espíritu. Gastamos ocho dias asistidos con magnificencia nada comun, i auxiliados con cuanto quisimos. Formamos una *Memoria sobre el Volcan de Puracé*: ella contiene la determinacion de la vejetacion a 2° 20' de latitud boreal; reflexiones sobre este particular; el análisis de dos fuentes minerales; la descripcion de ellas i de dos cascadas; nuestras observaciones jeodésicas; conjeturas sobre las erupciones del volcan; i en fin, la descripcion de un número considerable de plantas.

vaciones, crece; i habria creído cualquiera, desnudo de este conocimiento, que esta ciudad tenia el temperamento de Neiva o Mariquita. Concluí en jeneral, que habia error en los extremos de mi escala, i que era necesario profundizar la materia. ¿Ambos puntos, el hielo i el calor del agua, estarán afectos de alguna correccion precisa que he omitido? Tendrá la nieve mas frio en la vecindad de la línea? Resucitará la opinion de que el hielo es mas frio en razon de la latitud? Yo habia tenido cuidado de sumerjir mi termómetro muchas veces en la nieve ántes de que se rompiese, i siempre habia bajado esactamente al término de la conjelacion. No podia, pues, concluir nada contra la invariabilidad del término inferior. Por el contrario, mis observaciones sobre este objeto confirmaban su fijeza de un modo mas victorioso que las del doctor *Martine*. Este físico (2) habia visto solamente que el hielo era igualmente frio a $56^{\circ} 20'$ i $52^{\circ} 30'$ de latitud boreal, entre las cuales no hai mas diferencia que $3^{\circ} 48'$. Pero mis trabajos en este jénero prueban que mi termómetro, que señala 0 en Lóndres a $51^{\circ} 30'$ de latitud, se detiene en el mismo punto a $2^{\circ} 24'$ de latitud, cuando se le sumerje en el hielo, i acabo de ver que lo mismo sucede en Quito a $13'$ de latitud austral. El hielo es pues igualmente frio bajo la línea que a $51^{\circ}, 30'$ de latitud boreal: en un pais bajo, como Lóndres, a 800 toesas en Popayan, i a 1600 sobre el mar en Quito: en unos paises tan diferentes por su clima, i por sus producciones, que parecen los extremos.

3. Si tenia ideas claras, i hechos que demuestran el término del hielo, habia pensado mui poco en el del agua hirviendo. Desde entónces conocí que el error de la escala se acumulaba sobre el término superior, i traté de adquirir nociones esactas sobre él, como las tenia del inferior. Bien presto ví que aunque el calor de la agua hirviendo es constante, supone igual presion atmosférica; que aumentándose o disminuyéndose esta, se aumenta o disminuye el calor del agua; i en fin, que yo obraba, a 800 toesas sobre el nivel del mar, i con solo la presion de $22^{\text{p}} 10^{\text{l}} 9$, elevacion del mercurio en Popayan, en lugar de 28^{p} , que se requieren para obtener el término superior de una buena escala. Era, pues, preciso aumentar el espacio entre los dos puntos fundamentales, tanta cantidad cuanta corresponde a $5^{\text{p}} 1^{\text{l}}$. 1. de mayor presion sobre el agua. ¿Pero sobre qué principios debia establecer mi cálculo? Mui poco o nada se ha escrito; diré mejor, ha llegado a mis manos sobre este particular. Todos los físicos, todos los artistas, cierran sus termómetros cuando el barómetro está a 28^{p} , i Déluc adopta la altura de 27, como mas jeneral en las ciudades de Europa. La única luz, i esta escasa, que tenia, era un pasaje de M. Sigaud de la Fond (3): del doctor Martine, dice: “Este físico ha experimentado que la elevacion, “o descenso del mercurio, siendo de una pulgada en el barómetro el calor

(2) Física espermental de M. Sigaud, t. 3, p. 195.

(3) Física espermental, t. 3, p. 89.

“del agua hirviendo, varía algo ménos de dos grados segun la escala de “Farenheit.” La espresion *algo ménos*, que no asigna una cantidad determinada, me arrojaba en la incertidumbre, i en la imposibilidad de poder verificar en mi termómetro el término superior de la escala, sin pasar a un lugar bajo, en que ascendiese mi barómetro a 28^p. La necesidad era urgente, i no podia hacer un viaje costoso por solo este interes. Diriji todas mis fuerzas a ver si podia verificar mi escala sin salir de Popayan.

4. Dos grados de Farenheit hacen 0° 888 de Réaumur. ¿Será acaso el *algo ménos* del doctor Martine las dos últimas cifras de la fraccion antecedente? Quiero creer que esta es la cantidad que asigna este fisico; quiero por ahora calcular con solo 0°, 8 de Réaumur, por una pulgada del barómetro i será:

$$12^{\text{l}} : 0^{\circ} . 8 :: 5^{\text{p}} . 1^{\text{l}} . 1 : x,$$

$$\text{o} \quad 12^{\text{l}} : 0^{\circ} . 8 :: 61^{\text{l}} . 1 : x,$$

de donde
$$x = \frac{61^{\text{l}} \cdot 1 \times 0^{\circ} . 8}{12} = 4^{\circ} . 073$$

Debo, pues, conforme a este cálculo añadir 4°. o 73 al término superior que dé el calor del agua en Popayan, i la unidad que debe servir para verificar esta cantidad le hallo

$$80^{\circ} . - 4^{\circ} . 073 = 75^{\circ} . 927.$$

Por consiguiente debo dividir en el mio, el de Popayan, el espacio comprendido entre el hielo i agua hirviendo en 75°, 927, i este es el calor que tiene este flúido a la presion de 22^p. 10^l. 9.

5. Tales fueron los resultados de mis combinaciones, resultados que no contentaban mi escrupulosidad. Ellos eran el producto de dos números que aun no conocemos bien. La elevacion media del mercurio en el barómetro al nivel del mar bajo del Ecuador, o en sus inmediaciones, i lo que aumenta o disminuye el calor del agua por una pulgada de este instrumento, ambas son cantidades inciertas.

6. A pesar de las observaciones hechas en Portobelo, en Panamá, Manta, Guayaquil, por los astrónomos Godin Bouguer, de la Condamine, Juan, Ulloa, quedamos en la incertidumbre sobre la altura del barómetro al nivel del mar entre los trópicos. El tiempo que se mantuvieron estos sabios sobre nuestras costas fué mui limitado, i el resultado de sus observaciones vario. Si reflexionamos sobre sus escritos, si nos tomamos el trabajo de compararlos, i tenemos presente el estado de nuestros conocimientos en aquella época, hallaremos que las variaciones son mayores en los lugares bajos, i mucho menores en el clima de las montañas; que sus determinaciones van desde 27^p. 11^l. hasta 28^p. 1½; que en 1735, i 36, no se pensaba en disminuir la columna del mercurio dilatada por 27, por 28, i muchas vezes por 29 grados de calor en la escala de Réaumur; que es bien dudoso se haya tomado la precaucion de no deducir la altura media de la suma de todas las observaciones, partida por su número, método que

ha espuesto a muchos a los mayores errores, i que ha inutilizado tantos trabajos preciosos; i en fin, que su elevacion media es la indicada por barómetro simple i único, i nunca por muchos tubos de diferente densidad i calibre. ¡Qué desconfianza no deben inspirarnos estas reflexiones! Esta materia la he tratado con mas estension en una *Memoria sobre la elevacion media del mercurio entre los trópicos al nivel del mar*.

7. Aun es mas dudoso el otro dato de mi cálculo; i si he de hablar con la injenuidad propia de un amante de la verdad, mi fraccion $0.^\circ 8$ por 12.1 del barómetro es una adivinanza. De estos principios, que se me presentaban con toda la fuerza de su verdad, concluí que el calor del agua en Popayan era incierto, i que era preciso buscarle de un modo directo, e independiente de toda suposicion.

8. Aquí habria acabado la lucha con mi escala, si hubiera hallado un termómetro que sustituir al primero. Las observaciones comenzadas se iban a inutilizar, i he aquí un poderoso motivo que me anima: duplico mis esfuerzos, leo los pocos Físicos que tengo, i comienzo a meditar con seriedad. Un dia, revolviendo en mi espíritu todas las ideas espuestas hasta aquí, quiero volver sobre mis pasos para aclararlas, i tomo un camino inverso. *El calor del agua hirviendo es proporcional a la presion atmosférica: la presion atmosférica es variable inversamente con la altura sobre el nivel del mar: la presion atmosférica sigue la misma lei que las elevaciones del barómetro, o hablando con propiedad, el barómetro no nos enseña otra cosa, que la presion atmosférica: luego el calor del agua nos indica la presion atmosférica del mismo modo que el barómetro: luego puede darnos las elevaciones de los lugares sin necesidad del barómetro i con tanta seguridad como él.* ¿Será este un verdadero descubrimiento? ¿Habré adivinado en el seno de las tinieblas de Popayan, un método que estará hallado, i perfeccionado por algun sabio europeo? O por el contrario, ¿seré yo el primero a quien se hayan presentado estas ideas? Siendo tan claras, ¿se habrian ocultado a Réaumur, Delisle, Fahrenheit, DéLuc i Suncio? El libro mas reciente que tengo es Sigaud; le consulto de nuevo, no hallo nada que se parezca a mi teoría. Indica, es verdad, un método de medir las alturas por medio del termómetro, pero ¡qué diferente! ¡qué imperfecto! ¿Habria suprimido el del calor del agua, si hubiera sido colocado al tiempo que escribia? Por lo ménos, concluyo, hasta esta época no se ha pensado en él. La simplicidad de los principios, la claridad de las ideas, me inspiraban, a pesar de estas reflexiones, una gran desconfianza. ¿Es posible, me volvia a preguntar, que se hayan ocultado estas pequeñezas a unos hombres tan grandes? Es verdad que la historia nos presenta ejemplos que no se pueden leer sin humillacion. ¿Quién creyera que los antiguos, que poseyeron el arte de hacer el vidrio, no alcanzaron a usar de él para defenderse del aire i del frio, sin

privarse de la luz? ¿Que los peruanos, que erijieron unos edificios que hacen nuestra admiracion, no supieron formarse unas ventanas? Puede ser que a estos sabios, ocupados siempre en grandes objetos, se hayan escapado estas ideas. ¡Qué dudas! ¡Qué suerte tan triste la de un americano! Despues de muchos trabajos, si llega a encontrar alguna cosa nueva, lo mas que puede decir es: *no está en mis libros*. ¿Podrá algun pueblo de la tierra llegar a ser sabio, sin una acelerada comunicacion con la culta Europa? ¡Qué tinieblas las que nos cercan! Pero ¡ah! ya dudamos, ya comenzamos a trabajar, ya deseamos. Esto es haber llegado a la mitad de la carrera. ¿Cuál es ese jenio bienhechor que nos ha conducido hasta este término? Mútis llega a nuestras costas, la luz raya sobre nuestro hemisferio, levanta el grito, i despierta a este mundo aletargado. Ilustre sabio! yo os veo en este momento cercado de una gloria que vuestros mas implacables enemigos no os podrian arrebatár. Mútis nos trajo las primeras nociones de las ciencias. Si aun no somos sabios, no es culpa vuestra, todo se debe imputar a nuestra pereza, i a esa funesta adhesion a nuestras antiguas preocupaciones. Si, correspondiendo a vuestras miras paternales, seguimos la gloriosa carrera que nos habeis abierto; si hacen progresos las ciencias entre nosotros; si alguno quiere reproducir en el nuevo mundo a Montucla, Bailli, Andres; si se escribe la historia literaria de la América, Mútis estará al frente, Mútis será el padre de nuestras luces. Yo me desví sin advertirlo, he dado con el objeto de mi amor i de mi delirio. Mis paisanos, los jóvenes que aspiran a la sabiduría, querrian que olvidando la materia de este ensayo de memoria, se convirtiese en el panejirico del autor de sus luces. ¡Qué objeto! ¡qué héroe! Tiemblo, no me atrevo a tocarlo. Las cenizas de Fontenelle i de Tomas, los jenios sucesores de estos sabios, reclamarian sus derechos: no quiero disputarlos: pongo en sus manos un material que no es digno de las mias: me contento con no ceder a ninguno de ellos en mi amor, i con hablar del agua hirviendo i del termómetro.

9. Sean conocidas o nuevas, yo debo perfeccionarlas, me decia, debo consultar la esperiencia. Si lo primero, tendremos un ejemplo de que una misma verdad se presenta al mismo tiempo a muchos: compararemos los trabajos del europeo con los del hijo de Popayan, veremos los caminos que han seguido, sus resultados, i tal vez unos corregidos por los otros, perfeccionarán esta teoría. Aun cuando haya salido perfecta de las manos del primero, no habria perdido mi trabajo. Mis observaciones en este caso serian unos hechos que la confirmen, probarán que es jeneral, que bajo la línea, a pequeñas latitudes, en todas las elevaciones, los resultados son iguales a los de la zona templada, i que no influyen en ella, ni la distancia, ni el clima. Si lo segundo, ¿no es, decia, no es una pereza reprehensible abandonar una materia que puede tener resultados importantes?

10. Estas reflexiones me inspiran un valor superior a los obstáculos que me rodean, me hacen tomar la resolucion de trabajar en cuanto esté de mi parte. Pero ¿por dónde debo comenzar? Qué principios deben guiarme en mis indagaciones? Solo, aislado, sin luces, sin libros, sin instrumentos, mi mano debe formarlos, yo he de ser el creador de cuanto necesite para poder dar un paso en los trabajos proyectados. El primero debe ser una observacion del calor del agua en Popayan con un termómetro esacto. ¡Qué dificultad! Aun no he comenzado, ya estoi detenido en mis trabajos. Nada me acobarda: indago con el mayor cuidado, i de todos modos, si existe alguno en Popayan, ¡i en qué manos! Descubro dos, el uno de espíritu de vino, que no me podia servir; el otro, de mercurio, hace el objeto de mis deseos: lo consigo sin dificultad, era de Dollond, cerrado en Lóndres: examino el término del hielo, i lo hallo esacto: no puedo sujetar a igual exámen el término superior, i lo supongo bien establecido: divido el espacio fundamental en 80°. le adopto un *nonio* que subdivide en diez partes cada grado: tomo agua de lluvia, la hiervo, sumerjo el termómetro, avivo el fuego, el mercurio se detiene, se fija en 75°,7: salto de contento: ¡qué cerca de mis primeras conjeturas! (4) Mis ideas se comienzan a confirmar por la esperiencia. Depongo por este momento mis escrúpulos: adopto 28^{p.} del barómetro al nivel del mar, i 80°. del termómetro por calor del agua a esta presion: conozco que este es de los 75°,7 a 22^{p.} 10^{l.}9 en Popayan: emprendo el cálculo de lo que debe variar por una pulgada en el Barómetro: obro así: (5)

$$28^p. - 22^p. 11^l. = 5^p. 1^l. = 61^l.$$

$$80^\circ. - 75^\circ, 7 = 4^\circ, 3.$$

$$61^l. : 4^\circ. 3 :: 12^l. : \frac{12 \times 4^\circ. 3}{61} = 0^\circ. 8$$

grados en el termómetro de Réaumur por 12^{l.} en el barómetro: ¡qué bien habia adivinado el *algo ménos* del doctor Martine! (6)

11. Con este resultado, comienzo un cálculo inverso: emprendo conocer por él, i por el calor del agua en Popayan, la altura del barómetro que le corresponde,

$$0^\circ, 8 : 12^l. :: 4^\circ, 3 : \frac{4^\circ. 3 \times 12^l.}{0^\circ. 8} = 64^l. = 5^p. 4^l.$$

$$28^p. - 5^p. 4^l. = 22^p. 8.$$

altura del mercurio en el barómetro que corresponde a Popayan. No difiere de la que indica este instrumento, sino en 2^{l.} 9. Este resultado tiene una precision superior a mis esperanzas, pero no me satisface: resucitan mis escrúpulos, mis dudas se aumentan. ¡Cuántos principios de error se presentan a mi imaginacion! La impureza del agua, la forma de la vasija, la altura del barómetro en nuestros mares, el esponente, la escala, i sobre

(4) Véase el número 4 de este ensayo.

(5) Tomando un número redondo, porque 0^{l.} 1 de mas es despreciable en nuestro caso i complicaria el cálculo sin fruto.

(6) Véase el número 4.

todo mi poca práctica en este jénero de esperiencias, me aflijen; me avergüenzo de mi flojedad, me reprendo: entro en nuevas reflexiones: para remover obstáculos, distingo los que me parecen invencibles de los que no lo son; solo queda la altura del barómetro en el mar, entre los primeros: los segundos no exigen sino paciencia i trabajo para desaparecer.

12. A este tiempo un amigo (7) quiere que le acompañe a una bella casa de campo que posee en las faldas de la famosa cordillera de los Andes, i situada a muchas toesas sobre el nivel de Popayan. No pierdo esta ocasion: manifiesto a mi amigo mis ideas, hallo las mas favorables disposiciones en él, i animados del mismo celo, partimos con nuestros instrumentos. ¡Qué actividad, qué constancia la del compañero de mis trabajos! No se desdeña de hacer los oficios mas penosos i humildes. A pesar de la educación bárbara que se le dió en su juventud, ha sabido sacudir las preocupaciones; conoce el camino de la verdad, trabaja con utilidad propia i de sus compatriotas. Libros, instrumentos, luces, he aquí el objeto de su ambicion. ¡Cuánto debo a este amigo jeneroso! La mitad de la gloria, si alguna merecen estos pequeños trabajos, a él le pertenece. Estoy seguro que, a no haberme auxiliado con su persona i con sus bienes, estarian ya mis ideas sepultadas en el olvido. Faltaria a las leyes del reconocimiento, si no le diera este testimonio de mi gratitud i amor.

13. Hacemos muchas esperiencias en Poblason (8): subimos a un cerro inmediato nombrado Buena-vista, observamos el calor del agua; los resultados son aproximados i tienen el mismo grado de precision que el hallado para Popayan. Nuevas pruebas de la incertidumbre de la altura media del barómetro en el mar. ¡Qué elemento tan necesario para mis indagaciones! ¿Cómo asegurarse, cómo saber con esactitud la altura de esta columna sobre nuestras costas? O verificarla bajando a ellas, o dirigir el cálculo de modo que no exija este principio: tomo este camino, i el modo de ejecutarlo es el siguiente.

14. Hago a Popayan centro de mis operaciones: fijo la altura media del mercurio en esta ciudad, de un modo escrupuloso i seguro: determino el calor del agua destilada en su nivel, por repetidas esperiencias: refiero a este mis observaciones, i destierro de mis cálculos el principio de 28^o. al nivel del mar. Cuando por nuevas i esactas observaciones conozcamos este principio fundamental, no tendremos sino aplicarlo, sin alterar en nada los resultados de mis observaciones.

15. Los cálculos relativos al nivel de Popayan con el esponente 0^o, 8 me manifiestan que es preciso aumentarlo, i resuelvo un viaje a la cordillera. Rectifico de nuevo mis instrumentos: destilo agua que sujeto a las pruebas de la solucion de plata (*nitrate de plata*) i de mercurio (*nitrate de mercurio*) i provisto de lo necesario, parto el 22 de julio de 1801.

(7) El doctor don Manuel María Arboleda, Vicario jeneral del obispado de Popayan.

(8) Este es el nombre de la casa de campo de mi amigo, a 3 leguas al E. de Popayan.

16. Antes de esponer los resultados de mis trabajos sobre esta famosa cadena de montañas es preciso saber que la altura del barómetro en Popayan, por mis últimas observaciones hechas con el mayor cuidado, es de 22^p. 11^l, 2: es decir, 0^l. 3 mayor que la que asignámos anteriormente, i que el calor del agua a esta presion es 75^o, 65 de la escala de Réaumur.

17. En un sitio nombrado *Las Juntas* hago mi primera observacion. El barómetro se sostuvo aquí en 21^p. 9^l, o 14^l. mas bajo que en Popayan: hiervo el agua; el licor del termómetro se detiene en ella a 74^o, 5: calculo el esponente por esta observacion:

Altura del barómetro en Popayan.	22 ^p . 11 ^l . 2.	Calor del agua.	75 ^o . 65
En las Juntas	21. 9. 0	.....	74. 50
<hr/>			
Diferencias	1 ^p . 2 ^l . 2	.....	1 ^o . 15

$$1^p. 2^l. 2 = 14^l. 2 : 1^o. 15 :: 12^l. : \frac{12 \times 1^o. 15}{14.2} = 0^o. 971 \text{ grados}$$

de Réaumur por 12^l. del barómetro.

18. Subo un poco mas; hago mi segunda observacion en *Paispamba*, pequeña hacienda a 5 leguas al S. de Popayan. El barómetro se sostiene en 20^p. 9^l. 1 i el calor del agua es de 73^o, 5.

Altura del barómetro en Popayan.	22 ^p . 11 ^l . 2	Calor del agua	75 ^o . 65
En Paispamba	20. 9. 1	.....	73. 50
<hr/>			
Diferencia	2 ^p . 2 ^l . 1	.....	2 ^o . 15

$$2^p. 2^l. 1 = 26^l. 1 : 2^o. 15 :: 12^l. : \frac{12 \times 2^o. 15}{26.1} = 0^o. 988 \text{ grados.}$$

del termómetro de Réaumur por 12^l. del barómetro.

19. Mi alegría fué estrema al ver el resultado de esta segunda observacion. ¡Qué conformidad en el esponente! no difiere del primero sino en 0^o, 017 milésimas, cantidad que no la puede indicar el mas delicado instrumento.

20. Animado por unos resultados tan felices, doi un paso mas: subo a un cerro al E. de Paispamba, llamado *Sombreros*: el barómetro se mantiene en 19^p. 6^l, 05: el agua 72^o, 4.

Altura del barómetro en Popayan.	22 ^p . 11 ^l , 20	Calor del agua. . .	75, 65
En Sombreros	19. 6, 05	.....	72, 40
<hr/>			

Diferencias

3 ^p . 5 ^l . 15	3, 25
--------------------------------------	-------	-------

grados del termómetro de Réaumur por 12^l. del barómetro.

21. He aquí un resultado acorde con los antecedentes; he aquí tres observaciones que demuestran, que mas de nueve décimas de un grado en el termómetro de Réaumur en el calor del agua, corresponden a 12^l. del barómetro.

22. Resuelvo subir mas: llego a la cima de otro cerro llamado *Tam-*

bores. El barómetro se mantiene aquí a 18^{p.} 11^{l.} 6: el agua es 71°. 75.
 Altura del barómetro en Popayan. 22^{p.} 11^{l.} 2 Calor del agua ... 75, 65
 En Tambores..... 18^{p.} 11, 6 71, 75

Diferencias 3^{p.} 11^{l.} 6 3, 9
 $3^p. 11^l. 6 = 47^l. 6 : 3^\circ, 9 :: 12^l. \frac{12 \times 3^\circ, 9}{47, 6} = 0^\circ 983 \text{ grados}$

del termómetro de Réaumur por 12^{l.} del barómetro.

23. Me lleno de satisfaccion al ver este último número, se disipan mis dudas, me confirmo en la incertidumbre sobre la altura del barómetro en el mar, i conozco que mas de nueve décimas es el esponente verdadero; que la presion que indica el barómetro no se distingue de la que da el calor del agua; i en fin, que mis ideas están comprobadas por la experiencia.

24. Emprendo un nuevo trabajo: combino las mas satisfactorias: las elijo con prudencia i con precaucion, pues se trata de fijar un esponente que va a ser el fundamento de todos los cálculos posteriores: tomo las observaciones de las Juntas i de Sombreros, i calculo de nuevo el esponente.
 Altura del barómetro en las Juntas. 21^{p.} 9^{l.} 00 Calor del agua... 74, 60
 En Sombreros 19. 6, 05 72, 40

Diferencias..... 2^{p.} 2^{l.} 95 2, 20
 $2^p. 2^l. 95 = 26^l. 95 : 2^\circ 2 :: \frac{12 \times 2^\circ, 0}{26, 95} = 0^\circ. 979 \text{ grados}$

del termómetro de Réaumur por 12^{l.} del barómetro.

25. Hago lo mismo con las observaciones de Paispamba i Tambores.
 Altura del barómetro en Paispamba. 20^{p.} 9^{l.} 1 Calor del agua. 73°. 50
 En Tambores. 18. 11, 6 71. 75

Diferencias..... 1^{p.} 9^{l.} 5 1°. 75
 $1^p. 9^l. 5 = 21^l. 5 : 1^\circ. 75 :: 12^l. \frac{12 \times 1^\circ, 75}{21, 5} = 0^\circ. 976 \text{ grados}$

del termómetro de Réaumur por 12^{l.} del barómetro.

26. No podemos ya dudar de que mas de nueve décimas es el esponente verdadero. Fijemos de una vez este elemento suspirado. Reuno en una suma los seis resultados, parto por el número de ellos, i el cociente 0°, 974 es el número que buscamos, i espresa la cantidad de grados en el termómetro de Réaumur por 12^{l.} del barómetro.

27. Ya estamos en el caso de resolver el problema. *Dado el calor del agua hirviendo de un lugar, hallar la elevacion del mercurio en el barómetro, que le corresponde, i su altura sobre el nivel del mar.*

28. El esponente 0°, 974 : 12^{l.} :: la diferencia del calor del agua del lugar con el de Popayan, (por ahora, o con el del mar, cuando se conozca): un número de pulgadas, líneas &c, del barómetro, que se

quitarán si el lugar está sobre, i se añadirán si está debajo; del nivel de Popayan: con el mar siempre se quitarán de su altura. Ensayemos aplicar estos principios.

29. El calor del agua en Tambores es 71°, 15: se pide la altura del barómetro que le corresponde.

Calor del agua en Popayan	75, 65
En Tambores	71, 75
<hr style="width: 10%; margin-left: auto;"/>	
Diferencia	3, 90
$0^\circ, 974 : 12' :: 3^\circ, 90 \frac{3^\circ, 9 \times 12}{0^\circ, 974} = 48'. 05 = 4P. 0'. 05.$	

Como Tambores está sobre el nivel de Popayan, resto este resultado de la altura del barómetro en esta ciudad.

Altura del barómetro en Popayan. 22. 11, 20

Resultado. 4. 00, 05

Residuo 18. 11, 15 altura del barómetro en Tambores.

Comparemos el resultado del cálculo, con la observacion que hice en ese cerro.

Altura del barómetro en Tambores 18^p. 11^l, 60

Altura del barómetro calculada por el calor del agua 18. 11, 15

Diferencia. 00^p. 00^l. 45

30. No se puede desear mayor exactitud. Si queremos una expresion jeneral de este cálculo, sean

a = la altura del barómetro en Popayan, o el mar,

b = calor del agua en los mismos lugares,

c = el esponente,

e = 12 líneas,

d = calor del agua en un lugar cualquiera,

z = altura del barómetro en él.

$$\text{Valdrá } a \pm \frac{(b-d)e}{c} = z \text{ para Popayan.}$$

$$a - \frac{(b-d)e}{c} = z \text{ para el mar.}$$

31. Bajo de estos principios he calculado las alturas del barómetro que corresponden a los lugares en que he observado el calor del agua, como llevo referido, i de otros en que observé a mi regreso a Popayan La tabla siguiente presenta de una ojeada los lugares, calor del agua en la escala de Réaumur i de Farenheit, las alturas del barómetro observadas, i las mismas calculadas por el calor del agua con las diferencias entre unas i otras.

LUGARES.	Calor del agua. T. Réaumur.	Calor del agua. T. Farenheit.	Alturas del barómetro observadas.	Alturas del barómetro calculadas por el calor del agua.	DIFERENCIA.
Popayan....	75°, 65	202, 21	22p. 11 ^l . 2		
Juntas.....	74°, 50	199, 62	21, 9, 0	21, 9, 04	+0 ^l . 04
Paispamba..	73°, 50	197, 37	20, 9, 1	20, 8, 72	-0, 38
Sombreros...	72°, 40	194, 90	19, 6, 05	19, 7, 15	+1, 10
Tambores...	71°, 75	193, 43	18, 11, 6	18, 11, 15	-0, 45
Estrellas....	73°, 30	196, 87	20, 7, 0	20, 6, 25	-0, 75
Poblason....	74°, 30	199, 17	21, 6, 9	21, 6, 59	-0, 31
Buenavista...	73°, 80	197, 05	21, 1, 15	21, 0, 5	-0, 65

32. Siete observaciones del calor del agua, siete alturas del barómetro calculadas por ellas, i comparadas con las observaciones, que no difieren sino en cantidades que nuestros instrumentos no nos pueden indicar, que en seis no llega el error a una línea, i en otra no pasa de 1^l, 1, anuncian un modo seguro para medir las elevaciones de los lugares sin el auxilio del barómetro.

33. Este era el estado de mis trabajos cuando me fué preciso pasar a Quito, por intereses particulares. Me alegraba de una ocasion que se me iba a presentar para poder multiplicar mis observaciones, en niveles tan diferentes, como tienen los países que era preciso atravesar. A pesar de los deseos que me animaban de ponerlas en práctica, no pude hacer sino tres: la una en el valle abrasador de Patía; la otra en Pasto, i la última en Quito. Aun estas no se habrían verificado sin el socorro de un amigo (1) celoso e ilustrado, que era mi único compañero de viaje. No puedo dejar de nombrarle, como una muestra de reconocimiento. La pequeña tabla siguiente presenta de un golpe los resultados.

LUGARES.	Calor del agua. T. Réaumur.	Calor del agua. T. Farenheit.	Alturas del barómetro observadas.	Alturas del barómetro calculadas por el agua hirviendo.	DIFERENCIA.
Herradura...	78, 50	208, 62	25. 11, 85	25. 10, 31	-1, 54
Pasto.....	73, 60	197, 60	20. 9, 85	20. 9, 95	+0, 10
Quito.....	73, 05	196, 30	20. 2. 00	20. 3. 18	+1, 18

34. La llegada del señor baron de Humboldt se acercaba: espero con impaciencia a este joven sabio, por salir de mis dudas. Con su trato me confirmo en que la altura media del mercurio al nivel del mar en la vecindad del Ecuador es dudosa, i que absolutamente ignoramos el calor del agua en el mismo. Manifiesto mi método, pregunto si es nuevo. Cree este sabio, a primera vista, que Sucio habia trabajado bajo de esta idea: ve sus manuscritos, i me contesta: *Sucio no ha pensado, como usted, en agua hirviendo: sus trabajos se han limitado al temple de la atmósfera: asigna 640 piés de altura por un grado en el termómetro, i yo he observado*

(1) El doctor don Toribio Miguel Rodríguez, abogado en Quito.

que va muy bien este expediente en el pico de Teide cuando el día es sereno, i no se obra en lugares elevados. Desde este momento entro en posesion de este, si se puede llamar, pequeño descubrimiento. ¡Qué diferencia del método de Suncio al mio! ¡qué imperfecto el primero! ¡qué precario! Suncio no es sino el perfeccionador de las ideas de Heberden, ideas espuestas a los mayores errores, casi impracticables, i que exigen el juicio i la prudencia de un físico experimentado para poderlas aplicar con suceso. ¿Cómo es posible que el temple de la atmósfera, variando hasta el infinito sobre un mismo nivel, en que influye el lugar, la reflexion, un viento, una nube, la hora, pueda servir con firmeza para determinar la elevacion? Aun cuando se supongan dos observadores que de convenio observen al mismo momento, ¿cuántas causas locales i particulares a cada estacion alterarán el licor del termómetro? ¡Qué raro! ¡qué difícil hallar un día perfectamente sereno! ¡Solo esta circunstancia, ¡qué limitado hace el método de Heberden i de Suncio! Por el contrario, el del agua hirviendo presenta toda la comodidad, toda la precision que se puede apetecer. Que sea el tiempo sereno, nublado, frio, caloroso, con viento, que el observador esté a cubierto o espuesto, el agua hirviendo indicará siempre en el termómetro un calor proporcionado a la presion.

35. Por otra parte: el esponente 640 piés por un grado en el barómetro es un esponente relativo a la altura, i es menester variarlo en los lugares bajos, en los medios, en los elevados, sin lo cual estaria el método espuesto a los mas groseros errores i en contradiccion con la teoría. Este esponente constante es lo mismo que si le diésemos uno al barómetro, como lo hace Paulian, asignando 12 toesas de altura por una línea de ménos en este instrumento. Es preciso no estar iniciado en la fisica, para admitir un principio tan erróneo. Los trabajos hechos en Quito a principios del siglo pasado, hacen ver que en la elevacion de Caraburin ya es necesario subir 17 toesas para que el barómetro baje una línea. Yo pienso que todo esponente constante relativo a la altura es un absurdo.

36. No se pueden objetar estos defectos a mi esponente. Él es relativo a la presion, aumenta la altura en donde se disminuye esta, es relativo al barómetro, i todas las indagaciones sobre la lei i la progresion, que convienen a este instrumento, se acomodan i convienen al calor del agua, pues ambos no tienen otro fundamento que la presion atmosférica. El señor baron de Humboldt, a quien he manifestado una parte de mis ideas, creyó que mi esponente tenia los mismos defectos que el de Suncio; pero meditada la cosa, convino conmigo en esta precisa propiedad de mi esponente, que le distingue de todos.

37. Este mismo sabio me objetó que el calor del agua variaba a una misma presion hasta un grado. Yo habria suscrito con el mayor gusto a una autoridad tan respetable, si hubiera autoridad contra la esperiencia.

Una larga práctica me ha enseñado que el calor del agua a igual presión es invariable, observando con las precauciones convenientes. La autoridad de todos los físicos apoya mi modo de pensar. De otro modo ¿podía haber termómetros comparables? ¿No es esta invariabilidad del calor del agua hirviendo a la presión de 28^p. el fundamento del término superior de la escala de todos los termómetros? Es verdad que a los primeros hervores no ha adquirido el agua todo el calor de que es capaz; pero avivando el fuego, aumentando el hervor hasta su *máximum*, adquiere siempre un mismo calor.

38. Se podía creer que este método exige grandes termómetros para obtener la presión; pero ya dije lo que la experiencia me ha enseñado en este punto. El termómetro que he usado en todas mis observaciones tiene de largo 11 pulgadas 1 línea de pie de Rei, i cada grado en la escala de Réaumur 1^o 67, espacio demasiado pequeño para admitir una subdivisión considerable. Por medio de un *nonio* he dividido cada grado en 10 partes, i percibo hasta una media décima con la mayor claridad. Los resultados de mis experiencias tienen tal grado de precisión, que las mayores diferencias no pasan de 1½ líneas en el barómetro; i esta diferencia, espero que se corregirá con observaciones posteriores, hechas con mas cuidado i mejores instrumentos.

39. He apreciado los errores que se pueden cometer con esta escala, i he hallado que si el observador es tan poco atento, que llegue a errar en 0^o, 1 en el termómetro, produce solamente 1^o. 25 en el barómetro. Si se advierte, que es mui difícil engañarse en esta cantidad, obrando con precaución i con cuidado, se convendrá en que el método del calor del agua tiene tanta exactitud, i quién sabe si mas, que el barómetro; en fin, que merece ponerse en práctica.

40. Todos los que tienen alguna práctica del uso del barómetro convienen en que es un instrumento de difícil transporte, voluminoso, mucho mas espuesto que el termómetro, i que el montarlo bien exige mil cuidados i atenciones, de que no es capaz el comun. Solo la purificación del mercurio, ¿qué inteligencia no requiere? Si añadimos la preparación del tubo, el modo de llenarlo, purgarlo de aire, la escala, el cálculo de rectificación, concluiremos qué este instrumento no puede salir de manos de los físicos: jamas puede vulgarizarse, i jamas pueden multiplicarse sus observaciones, porque jamas pueden vulgarizarse estos conocimientos. El termómetro es de poco valor, su transporte cómodo, no hai que purificar, no hai que llenar, no hai que purgar de aire, no exige cálculo de rectificación; en fin, no necesita como el barómetro otro instrumento auxiliar para obtener un resultado preciso.

41. Se pueden simplificar de tal modo las observaciones del calor del agua, que el mas ignorante, el ménos versado en materia de física, pueda

por sí solo hacerlas, i calcular las elevaciones. Añadiendo al termómetro una escala que indique las pulgadas del barómetro, es inútil el cálculo de reduccion espuesto arriba, i se puede suprimir.

42. Ya he trabajado sobre esta escala, i en los principios sobre que se debe formar. La fraccion $0^{\circ}, 974$ de la escala de Réaumur equivale a 12° . o a una pulgada del barómetro. Si se multiplica por 12, 13, 14, &c. hasta hallar un producto sin fraccion, o con esta, fácil de verificarse con el compas, i se toman en la escala del termómetro tantos grados como unidades tiene el multiplicador, se tendrán los extremos de la escala del barómetro. Hagamos mas perceptible este método. El producto de $0^{\circ}, 974$ por 19, es $18^{\circ}, 506$: despreciemos las 6 milésimas como una cantidad infinitamente pequeña e insensible en la práctica: tendremos que $18^{\circ}, 5$ de la escala de Réaumur, corresponden a 19° . del barómetro. Tomo sobre la escala del termómetro $18^{\circ}, 5$, los pasò a la izquierda desde el término superior acia abajo; divido este espacio én 19 partes, i quedan espesadas en el termómetro las pulgadas del barómetro: aplico un *nonio* que subdivide a estas en 24 partes, i tengo una escala que me da hasta media línea del barómetro. ¡Ah! es preciso no haber saludado esta materia para no suscribir a estos principios! No hai barómetro con barómetro, no hai tubo con tubo. Sus diferencias en un mismo lugar, con un mismo mercurio, la misma escala, llegan hasta $4\frac{1}{2}$ líneas: diferencia espantosa, nacida del calibre i de las atracciones, a que no está sujeto el termómetro ni el método del calor del agua. Conozco las variaciones a que están espuestos los termómetros cerrados i preparados de un mismo modo; pero comparadas con las del barómetro, me parece que los resultados del termómetro, son mas uniformes que los del barómetro. ¡Ah! si los estrechos límites en que me ha encerrado mi escasa fortuna me hubieran permitido, si los obstáculos hubieran sido menores, yo hablaria ahora de un modo positivo, podria valuar los errores i compararlos; pero no puedo; me han faltado instrumentos, facultades, ocasion.

43. La figura adjunta representa mi termómetro con la misma estension que tiene: en ella se ve con la mayor claridad la escala comun para el calor, i la que indica la altura del barómetro. ¿Habremos unido en un pequeño instrumento los célebres descubrimientos de Drobhel i Torricelli? Los sabios, la experiencia decidirán este problema.

44. Esta no es una Memoria, es un ensayo para formarla. ¡Cuántos trabajos, cuántas observaciones faltan que hacer para darle la última mano! Cuántas atenciones, que yo he omitido por la escasez de mis instrumentos, es preciso observar i practicar! Todas las alturas del barómetro hechas en Popayan, Poblason, Juntas, Tambores, &c. no las he podido corregir de los defectos del frio i del calor, a falta de un termómetro que me indicase el temple de la atmósfera, al momento que mi

único termómetro me daba el calor del agua. ¿Quién sabe si las pequeñas diferencias que he hallado provienen de falta de rectificación?

45. Cuando yo pienso, que a poca costa, i en poco tiempo, puede adquirir esta materia todo el grado de perfección de que es capaz, cuando me veo en las inmediaciones del mas bello lugar que se puede hallar sobre la tierra, que parece que la naturaleza le formó con este designio, salgo de mí, i ardo en deseos de verificarlo cuanto ántes. Chimborazo, esta masa colosal, situado por $2\frac{1}{2}$ grados de latitud austral, cuyas faldas descienden directamente hasta las costas del Pacífico, i sobre los cuales corre el camino que une a Quito con el puerto de Guayaquil, presenta toda la comodidad imaginable para observar el calor del agua desde el término de la nieve hasta el nivel del mar. Si es verdad que el barómetro se sostiene en aquel a 16 pulgadas, se pueden verificar doce observaciones, de pulgada en pulgada, hasta las 28, en Guayaquil. Aquí, verificando la altura media i el calor del agua sobre la costa misma, se habrían echado los fundamentos de una teoría, se habría perfeccionado el método mas sencillo, el ménos costoso, i tal vez el mas seguro, de medir las montañas, i la elevación de todos los lugares.

46. Las utilidades parecen notorias. Apénas hai ciudad, apénas hai pueblo, en que no se halle un termómetro en manos de algun particular: este es sin contradicción el instrumento mas jeneralizado, i se puede decir, que a cien termómetros apénas se puede oponer un barómetro: el método es fácil, la observación sencilla, i proporcionada al alcance del comun. ¿Qué esperanzas tan lisonjeras concibo, que dentro de un corto número de años, podremos conocer la elevación de todos los pueblos! Este cuerpo de observaciones, ¡qué conocimientos tan estensos nos proporcionará, sobre la forma de los continentes, sobre las corrientes del agua, sobre las misteriosas revoluciones de esta costra del globo que habitamos! Este material puesto en manos de los sabios sucesores de Woodward i de Buffon, producirá una teoría de la tierra mejor fundada, ménos poética, mas católica.

47. Cuando por una serie de trabajos haya comparado el calor del agua destilada con el del agua de lluvia, cuando haya dado la última mano a mi memoria sobre las precauciones necesarias para hacer este jénero de observaciones, estaremos en el caso de no necesitar sino de un simple termómetro, i de una lluvia, para medir todas las montañas, todos los valles i todos los lugares. Si esta comparación la hacemos con el agua de fuente, tambien habrá duplicado la comodidad. Si se advierte que la pureza del agua no se necesita para las alturas relativas, no deja que desear este método. Tantos jóvenes laboriosos, que, faltos de barómetro, arden en deseos de trabajar ¡de cuántas observaciones nos enriquecerán! Ya me parece que los veo a todos en movimiento, que tomando sus termómetros escalan las montañas mas espantosas, que descienden gradualmente al

fondo de los valles abrasadores, que se forman nivelaciones de las cuatro partes del mundo, que con ellas se desploman los sistemas de unos filósofos, que se erijen sobre sus ruinas otros nuevos, que se levanta un ángulo del velo, i da un paso la Jeolojía. Pero esto es mucho: apénas conocemos el momento presente ¿qué podemos decir de los futuros? No usurpemos los derechos de la posteridad, aspiremos a merecer su reconocimiento, o a lo ménos que no se nos reprenda de pereza.

APÉNDICE.

No quise perder la brillante ocasion de comparar mis miserables instrumentos con los del señor baron de Humboldt, i hacer lo mismo con las observaciones verificadas en los lugares que nos eran comunes. Solo en Popayan habíamos observado ambos el calor del agua. Este ilustre viajero habia hallado que el agua llovediza habia hecho subir el licor del termómetro en esta ciudad a 203°, 3 de Farenheit, cuando el agua destilada me daba 202°, 21, es decir, casi un grado ménos. Me sorprendí al ver tan enorme diferencia, pues el agua de lluvia no puede producir un grado de mas en el termómetro. ¿Estará el error, me decia, en nuestros instrumentos? Si lo hai, seguramente recae sobre mi termómetro. Deseando salir de la duda, suplico al señor baron, me confíe el mismo termómetro que le habia servido en Popayan para su observacion: me concede traerlo a mi casa, lo pongo al lado del mio, dejo que adquieran la temperatura de mi aposento, i hallo que el del señor baron está justamente un grado mas alto que el mio. ¿Pero cuál de los dos está fuera de la temperatura verdadera? El hielo es el mejor camino que se me presenta para salir de mi incertidumbre. Sumerjo ambos termómetros en él, i veo con admiracion que el bello termómetro de Nairne se detiene en un grado sobre la congelacion, i a 33 de Farenheit, cuando el mio bajaba con la mayor esactitud a 0. de Réaumur, i 32 Farenheit. Por consiguiente es necesario quitar 1° de los resultados de las observaciones hechas con este instrumento. Así, 203, 3 — 1°, 0 = 202°, 3. i quitando 0°, 1 por haber sido con agua de lluvia, quedan nuestras observaciones perfectamente acordes: la del señor baron será 202°, 20, i la mia 202, 21. He aquí dos termómetros de autores de escala de tiempos diferentes, dar un mismo calor, a un mismo nivel, cuando nuestros barómetros se sostienen bien diferentes. El señor baron halla que su barómetro en Popayan se mantiene en 23^p. 3^l. 4: el mio a 22^p. 11^l. 2: i el de Bouguer a 22^p. 10^l. 7, casi cinco líneas mas bajo que el primero. ¿Cuál es el termómetro que, graduado con inteligencia, dé tan grande diferencia? ¡Ah! parece que la esperiencia comienza

a confirmar que el calor del agua en diferentes termómetros, es mas constante, ménos variable, que la columna de mercurio en barómetros distintos.

Otra de las observaciones de este sabio, que confirma de un modo notable mis ideas, es la del calor del agua en Santafé. He visto que su termómetro subió en esta capital a 198°, 6 de Farenheit: si quitamos un grado de error en el instrumento, quedarán 197°, 6 — 0°, 1 por ser agua de fuente, tendrémós 195, 5 el calor del agua de Santafé, que son 73°, 55 de Réaumur. Calculemos con este calor la altura que mi barómetro debia dar en esta ciudad.

Calor del agua en Popayan. 75, 65
 En Santafé. 73, 55

Diferencia 2°, 10

$$0^\circ, 974 : 12 :: 2^\circ, 1 \frac{2^\circ, 1 \times 12}{60^\circ, 974} = 25^1, 8 = 2P. 1^1, 8$$

de ménos que en Popayan.

Altura del barómetro en Popayan: 22^p. 11^l, 2
 — 2. 1, 8

Altura de mi barómetro en Santafé: 20. 9, 40

El año de 1796, he observado i publicado (*Correo curioso de Bogotá*) que mi barómetro se sostenia en esta ciudad, en su mayor elevacion, a 20. 8^l, 0. No difiere pues el cálculo de la observacion sino en 1^l, 4, i no hai barómetros que no den entre sí mayores diferencias.

Lo mismo podemos hacer con Guadalupe. El señor baron halló que el calor del agua sobre este cerro es de 194°, 6 — 1°, 0 = 193, 6 — 0°, 1 = 193, 5 que hace 71°, 77 de Réaumur.

Calor del agua en Popayan. 75, 65
 En Guadalupe. 71, 77

Diferencia 3, 88

$$0^\circ, 974 : 12 :: 3^\circ, 88 : \frac{3^\circ, 88 \times 12}{60^\circ, 974} = 47^1, 8 = 3P. 11^1, 8$$

de ménos que en Popayan.

Altura del barómetro en Popayan. 22^p. 11, 2
 — 3. 11, 8

Altura de mi barómetro en Guadalupe . . . 18. 11, 4

En 1796 hallé 19^p, justas (*Correo curioso*) que no difiere de la calculada sino en 0^l, 6. No se puede desear mas esactitud.

Quito, abril de 1802.

FRANCISCO JOSÉ DE CÁLDAS.