

EL USO DE INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS EN LOS PRIMEROS VUELOS AEROSTÁTICOS TRIPULADOS

JUAN ALBERTO MOLINA GARCÍA
UNED

ABSTRACT: After the Montgolfier's invention of a hot-air balloon at the end of the 18th century, the success of the first manned-flight in an hydrogen balloon by the french physicist Charles on 1st december 1783, supposed the begining of a series of experiences on board of such aerial devices that would lead to a progresive knowledge of the behaviour of the upper atmosphere and to determine the variation of some properties of the air in relation with height. The purpose of this paper is to examine how the use of scientific instruments was decisive to obtain these results, so that it will be analised the work realised by some French balloonists in their rides; in a second part, it will be commented the work developed in Spain, to compare with the formerly mentioned.

Introducción

Navegación aerostática y experiencia científica se nutrieron mutuamente desde la aparición del primer globo, a finales del siglo XVIII¹. La aerostación surgió gracias al concurso de varias ciencias ya consolidadas y a los novedosos avances en química neumática²; recíprocamente, la invención del globo aerostático fue un factor que contribuyó de forma decisiva al desarrollo de las investiga-

¹ Sobre la invención del globo aerostático de aire caliente, los materiales empleados en su construcción y las primeras demostraciones públicas, puede consultarse GILLISPIE, Ch. C., *The Montgolfier brothers and the invention of aviation, 1783-1784*, Princeton University Press, 1983, capítulo I, pp. 3-25.

² *Ibid.*, pp. 15-17. Véase también SCOTT, A., «La invención del globo aerostático y el nacimiento de la química», *Investigación y Ciencia*, 91 (1984): 88-97.

ciones sobre la atmósfera terrestre, composición química del aire, comportamiento de los organismos a diferentes alturas, etc³. El papel de los instrumentos científicos en la medición de variables atmosféricas, análisis de muestras de aire o estudio del magnetismo terrestre, era primordial; fue precisamente al comenzar los vuelos tripulados cuando se pudieron confirmar o mejorar determinadas teorías ya existentes⁴ y refutar otras⁵. Los estudios realizados requerían de un utillaje científico fiable y especializado, buena parte del cual ya gozaba de amplia aceptación entre los investigadores, así como de un alto grado de perfeccionamiento; por otra parte, la aparición de ciertas disciplinas experimentales, como la meteorología, tuvo su razón de ser en las mediciones sistemáticas efectuadas con aparatos adecuados, empresa que, como veremos, alcanzó un fuerte impulso gracias a los registros llevados a cabo por los primeros aeronautas. En este artículo repasaremos brevemente el uso que se dio a los instrumentos científicos como utensilios de navegación aérea, pero nos centraremos sobre todo en sus aplicaciones a la aerostación científica, para lo que tendremos en cuenta las experiencias de los aeronautas franceses y españoles como referencia principal. Comprobaremos que, frente a los trabajos más abundantes y sistemáticos de los primeros, escasearon los de los segundos, si bien a éstos no se les puede quitar mérito debido a que enseguida comprendieron la utilidad de los globos y de los instrumentos en la ciencia. Respecto a Francia, nos centraremos en dos casos paradigmáticos por la significativa y acertada aportación que se hizo a las indagaciones sobre determinados aspectos del comportamiento atmosférico y de la composición química del aire: nos referimos a sendos vuelos protagonizados por L. B. Guyton de Morveau y J. L. Gay-Lussac, que tuvieron lugar con veinte años de diferencia y de los que pondremos especial énfasis en los instrumentos que fueron llevados a bordo, el uso que se les dio y las conclusiones obtenidas. En cuanto a España, destacaremos la figura de V. Lunardi, aeronauta italiano que efectuó mediciones de la temperatura, presión y humedad desde un globo y que nos interesará especialmente por haber proporcionado al Real Laboratorio de Química de Madrid una muestra de aire atmosférico tomada en uno de sus vuelos para su posterior análisis; aunque sólo podamos mencionar este caso, no puede pasar desapercibido el hecho de que los autores españoles que escribieron

³ Para hacerse una primera idea sobre las aplicaciones científicas y militares de los globos, puede consultarse FOURIER, J., «Éloge de Mr. Charles», *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de France*, 8 (1829): lxiii-lxxxviii.

⁴ Disminución de la temperatura, presión y humedad del aire con la altura.

⁵ Supuesta pérdida de la intensidad del magnetismo terrestre al alejarse de la superficie.

sobre temas relacionados con la aerostación siempre hicieron justicia al valor de los aparatos en los viajes aerostáticos, bien porque fueran usados como instrumentos imprescindibles para la navegación aérea o bien porque su intervención en la investigación científica desde el aire fuese de suma importancia.

Generalidades sobre aerostación científica en Europa

Tras la invención del globo aerostático de aire caliente por los hermanos J. y E. Montgolfier, el físico francés J. A. C. Charles y el artesano parisino J. Robert realizaron un vuelo en el globo de hidrógeno de su invención que marcaría un momento decisivo en el futuro de la aerostación científica. Mediante un termómetro y un barómetro, los dos aeronautas pudieron registrar las modificaciones de la temperatura y de la presión atmosférica a medida que se elevaban. Este hecho era interesante por dos razones: 1.º) la medición de dichas variables permitía controlar los cambios de volumen del saco del globo y operar en consecuencia para evitar posibles reventones del mismo, cosa que se pudo lograr gracias al manejo de la válvula y de la zona de rasgadura (ésta fue incorporada como medida de precaución en caso de emergencia), lo que facilitaba a su vez el dominio del ascenso y del descenso del globo a voluntad del piloto; 2.º) se podía establecer una correlación entre dichas modificaciones y la altura alcanzada para lograr un mejor conocimiento de la atmósfera terrestre, hecho que habría de tener consecuencias inmediatas en la investigación de los fenómenos meteorológicos.

Los globos de aire caliente, excesivamente voluminosos y pesados, no podían ascender demasiado, ya que su peso específico sólo podía llegar a igualarse con el de un volumen análogo de aire situado a tan sólo unos mil metros de altura. En principio, cualquier anotación sobre las modificaciones de la temperatura y de la presión atmosférica que se pretendiera realizar, debería de efectuarse en esa estrecha franja; por otra parte, el aire encerrado en el globo se condensaba tan rápidamente —en ello tardaba pocos minutos, según fuese el tamaño del saco y la temperatura interna—, que los aeronautas se veían obligados a prestar casi toda su atención a reavivar el fuego de la estufa que portaban en el cestón. La preocupación fundamental de quienes viajaban en dichos globos era, pues, conseguir un grado ideal de calentamiento del aire para procurar el ascenso, el descenso o el estacionamiento de la nave en la atmósfera, empresa que les llevaba la mayor parte del tiempo sin que hubiera posibilidad material de registrar las variaciones detectadas por los aparatos. Cuando las materias combustibles que portaban se les acabasen, el globo descendería irremediabilmente y las únicas conclusiones

científicas de su viaje aéreo se reducirían a la observación de los efectos del mismo en sus propios organismos o en los de los animales que les acompañaban, así como la forma en que las ráfagas de viento de las capas atmosféricas inferiores arrastraban caprichosamente de un lado a otro la nave; desde tierra, se podía calcular la altura aproximada alcanzada por el globo y el tiempo de vuelo, así como las velocidades de ascenso, desplazamiento y descenso⁶.

Los globos de hidrógeno, por el contrario, presentaban muchas más ventajas en cuanto a su utilidad en expediciones de carácter científico. La extraordinaria ligereza del gas, su dificultad para condensarse y la envoltura resinosa del saco, que impedía el escape del fluido, hacían posibles tanto los ascensos elevados, rápidos y duraderos como la realización de mediciones y las indagaciones sobre diversas cuestiones relativas a la atmósfera terrestre. De hecho, ninguno de los vuelos aerostáticos tripulados y con fines científicos que vamos a comentar aquí fueron realizados en globos de aire caliente.

Respecto a la meteorología, la mayor parte de las observaciones efectuadas durante los siglos XVII, XVIII e incluso parte del XIX, se hicieron a bajas alturas. Si exceptuamos las observaciones de J. A. Deluc y H. B. de Saussure y otros científicos y montañeros⁷, las mediciones se solían realizar en lugares que no se distanciaban más que unos pocos metros del suelo, como campanarios de iglesias, torreones de castillos, lomas suaves y poco elevadas, etc.; sólo con la invención del globo aerostático de hidrógeno se abrieron las puertas a las investigaciones meteorológicas a grandes alturas⁸, por encima incluso de las más altas cotas conocidas, lo que por su parte favorecería a la larga el desarrollo de los instrumentos meteorológicos. Los que portaron Charles y Robert en su vuelo del 1 de diciembre de 1783, tenían más la función de controlar las variaciones de temperatura y presión que pudiesen afectar al vuelo mismo que la de efectuar investigaciones atmosféricas. Precisamente fue esto último lo que intuiría Priestley tan

⁶ Véase FAUJAS DE SAINT FOND, *Description des expériences de la machine aérostatique de MM. De Montgolfier*, París, 1784, p. 34. Se necesitaban al menos tres observadores provistos cada uno de un cuarto de círculo y de un péndulo que batiera segundos.

⁷ Véase FELDMAN, Th. S., «Applied mathematics and the quantification of experimental physics: The example of barometric hypsometry», *Historical Studies in the Physical Sciences*, 15 (1985): 127-197.

⁸ Y a lugares más o menos alejados de los puntos de despegue, según la fuerza con que el viento arrastrase las aeronaves.

sólo dos semanas después; en una carta dirigida el 14 de diciembre de ese año a Sir J. Banks, presidente de la Royal Society de Londres, le decía que el futuro de los globos habría de ser el de convertirse en elementos imprescindibles para la exploración de las altas capas de la atmósfera⁹; en efecto, durante la ascensión realizada por el médico estadounidense J. Jeffries el 30 de noviembre de 1784 desde Londres, éste tomó varias muestras de aire a distintas alturas para ser posteriormente analizadas por H. Cavendish, quien determinó que sus composiciones químicas no diferían para nada entre sí ni de la del aire tomado en las inmediaciones de la superficie terrestre¹⁰. Además, Jeffries se propuso determinar la presión y la temperatura a elevaciones diversas, así como observar las corrientes de aire para tratar de arrojar algo de luz sobre la teoría de la formación de los vientos; constató que la temperatura disminuía rápidamente a medida que se elevaba y que otro tanto ocurría con la presión atmosférica y con el grado de humedad del aire. Más tarde, el 7 de enero de 1785, acompañado por J. P. Blanchard, Jeffries cruzó en globo el Canal de la Mancha llevando a bordo un termómetro, un barómetro, un electrómetro, un higrómetro, un reloj y una aguja náutica¹¹; los instrumentos —especialmente los dos primeros— fueron indispensables para navegar con éxito, pero no pudieron llegar a realizar mediciones meteorológicas de interés debido a los continuos percances sufridos durante el vuelo¹². Lo mismo que Charles y Robert, soltaron antes de partir varios globos-piloto¹³ para observar la dirección y la fuerza del viento y hacerse una idea de lo que se encontrarían arriba; parece ser que también portaban una botella para

⁹ MIDDLETON, W. E. K., *The Invention of Meteorological Instruments*, Baltimore, The John Hopkins Press, 1969, p. 288.

¹⁰ WOLF, A., *A History of Science, Technology, and Philosophy in the 18th century*, vol. 2, Londres, Thoemmes Press, 1999, p. 580.

¹¹ MIDDLETON, W. E. K., *op. cit.*, p. 288.

¹² Jeffries redactó un informe de sus dos experiencias aerostáticas: A narrative of the Two Aerial Voyages of Doctor Jeffries with Mons. Blanchard, Londres, 1786. De él se hace una referencia en GILLISPIE, Ch. C., *op. cit.*, pp. 44-56; también en Jackson, D. D., *Les aéronautes*, Amsterdam, Time-Life, 1981, p. 111.

¹³ Este hecho fue recogido en la *Gazeta de Madrid* del sábado, 30 de diciembre de 1783 y muestra la colaboración que existía entre Montgolfier y Charles, que por la época ya eran miembros de la Academia de Ciencias de París: «El día 1.º se hizo en las Tullerías un experimento con la máquina aerostática de los Sres. Charles y Robert. Antes, Mr. Montgolfier, autor de este descubrimiento curioso, había echado á volar un globillo verde, que se perdió de vista en pocos minutos». El mismo Charles, en el discurso de apertura de uno de sus célebres cursos de física experimental, pronunció las siguientes palabras que fueron publicadas en el *Mercurio Histórico y Político*, diciembre (1783), vol. II, pp. 308-309: «A nuestro viage en el globo grande hicimos preceder el vuelo de un globo de 5 pies y 8 pulgadas de diámetro, el qual habiamos destinado

tomar muestras de aire, pero el globo perdió tanto hidrógeno durante el trayecto que se vieron obligados a arrojar no sólo el lastre, sino también las provisiones, varios libros y la mencionada botella¹⁴. En general, el ejemplo de Charles y Robert fue seguido por los aeronautas que les sucedieron y, a pesar de que no todos ellos fueran conscientes de la importante sugerencia de Priestley y se propusieran más bien realizar vuelos de exhibición, tomaron la costumbre de llevar al menos termómetros y barómetros consigo.

Buena parte de las investigaciones realizadas por los aeronautas europeos de finales del siglo XVIII y comienzos del XIX, versaron sobre los proyectos para dirigir globos; pero, después de muchos fracasos, se centraron en las ascensiones de carácter científico. Así, A. V. Humboldt y J. P. Bonpland alcanzaron en 1802 los 5.878 metros de altura con el fin de observar la presión y la temperatura atmosférica; el 18 de julio de 1803, E. Robertson, más conocido como aeronauta que como hombre de ciencia, se elevó desde Hamburgo junto con su amigo, el profesor de música Lhoëst, pero la falta de sistematicidad en las observaciones efectuadas hacen dudar de la fiabilidad de sus resultados¹⁵. Ese mismo año, por encargo de la Academia de Ciencias de San Petersburgo, ascendió a 7.000 metros junto al aeronauta Sajarov, con el objeto de estudiar el magnetismo terrestre y el estado eléctrico del aire en las sucesivas capas atmosféricas; creyeron observar un debilitamiento en la fuerza magnética que actuaba sobre la aguja imantada de la brújula conforme el globo ascendía y su conclusión fue que había una supuesta proporcionalidad inversa entre ambas¹⁶, coincidiendo así con la opinión de H. B. de Saussure¹⁷. No conforme con dicho resultado, Laplace instó a la Academia de Ciencias de París a que se llevara a cabo una experiencia similar; los encargados de la investigación fueron J. B. Biot y J. L. Gay-Lussac, quienes refutaron la tesis anterior, como tendremos ocasión de comprobar más adelante.

para que nos manifestase la primera dirección del viento, y nos abriese, para decirlo así, el camino por donde debíamos transitar. Presentamos este globo pequeño á Mr. Montgolfier, y no fue difícil al público adivinar el sentido verdadero de esta sencilla alegoría; y no bien hubo cortado la cuerda este célebre Físico, quando el globo penetró rapidamente los ayres, seguido de las aclamaciones del inmenso número de pueblo que se hallaba presente».

¹⁴ NAVARRO MÁRQUEZ, E., *Historia de la navegación aérea*, Madrid, Alianza Editorial, 1970, pp. 37-38.

¹⁵ Véase JACKSON, D. D., *op. cit.*, p. 112.

¹⁶ NAVARRO MÁRQUEZ, E., *op. cit.*, p. 44.

¹⁷ Mediciones hechas en el pico *Col du Géant* (Alpes suizos).

Después de los viajes de estos últimos, la aerostación científica experimentó un largo período de estancamiento, interrumpido ocasionalmente por algunos intentos no demasiado exitosos —como el protagonizado en 1808 por los meteorólogos italianos P. Andreoli y C. Brioschi, que ascendieron a 7.600 metros— o por alguna otra aventura aislada en Alemania e Inglaterra. Sólo en 1850, los aeronautas franceses Barral y Bixio ascendieron en un globo para estudiar la composición química del aire, pero no llegaron a cumplir sus propósitos al rasgarse la envoltura del aerostato; en un segundo viaje, en el que alcanzaron los 7.000 metros, descubrieron que los cirros se componían esencialmente de cristales de hielo¹⁸. A partir de ese momento, la aerostación científica recobró interés en Europa y se sucedió una larga serie de nombres que se prolongó hasta el primer tercio del siglo XX.

El aerostato de Dijon

A comienzos del año 1784, tras el éxito de Charles y Robert, la Academia de Ciencias y Artes de Dijon encargó al químico L. B. Guyton de Morveau y a sus colaboradores Chaussier y Bertrand un estudio exhaustivo de los globos de aire caliente y de hidrógeno: procesos respectivos de construcción, materiales empleados, principios en los que se basaba su funcionamiento, autonomías de vuelo, proyectos para dirigirlos horizontalmente en el aire y posibles aplicaciones técnicas, sociales, científicas, militares, etc¹⁹. Aunque las experiencias realizadas los días 25 de abril, 30 de mayo y 12 de junio de 1784 tuvieron como finalidad principal comprobar el funcionamiento del globo de hidrógeno que diseñaron y poner a prueba sus elementos direccionales²⁰ (*fig. 1*)²¹, las derivaciones desprendidas acerca de diversos aspectos del conocimiento de la atmósfera nos servirán para estudiar las aplicaciones científicas de los aerostatos.

¹⁸ JACKSON, D. D., *op. cit.*, p. 112.

¹⁹ Véase GUYTON DE MORVEAU et al. *Description de l'Aérostas*, Académie des Sciences, des Arts et des Lettres de Dijon, 1784. En la introducción, los autores dan cuenta del encargo y de los objetivos de su estudio, los cuales exponen y desarrollan a lo largo de toda la obra.

²⁰ Finalmente, la eficacia de éstos fue más que dudosa.

²¹ En la ilustración aportada por Guyton de Morveau y sus colaboradores en *op. cit.*, Pl. II, Fig. 1 y Fig. 3, p. 226, puede apreciarse un detalle del timón y de las alas, respectivamente.

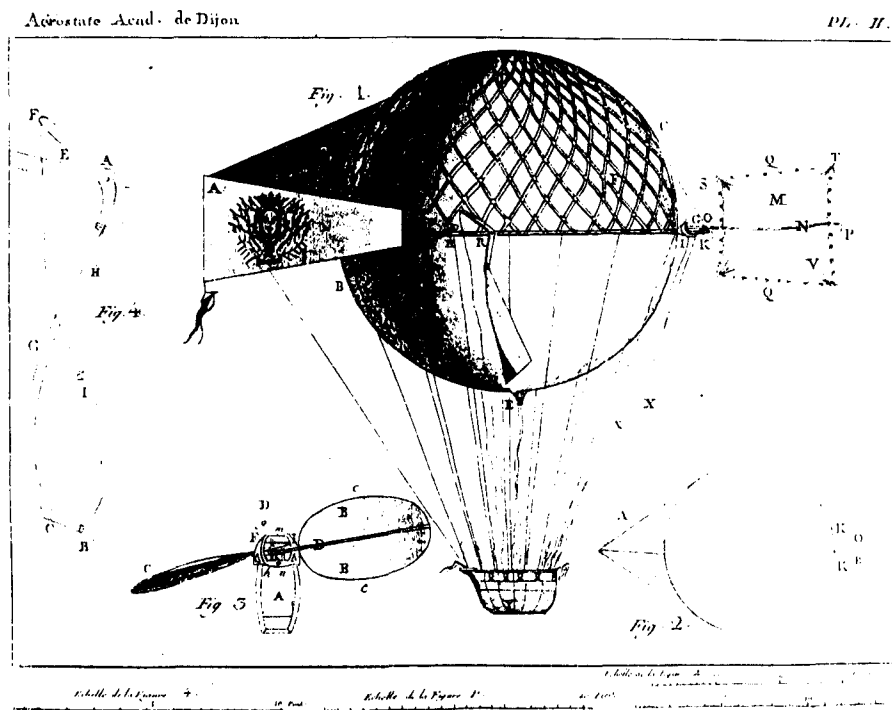


Figura 1. Aerostato de la Academia de Dijon. Fuente: Guyton de Morveau, Chauffier, Bertrand, *Description de l'Aérostat*, 1784.

En efecto, varias de las conclusiones a las que se llegaron atañían a determinadas cuestiones meteorológicas: localización de las corrientes aéreas en las capas inferiores de la atmósfera y variaciones térmicas, barométricas e higrométricas con la altura. De hecho, Guyton de Morveau se mostraba convencido de que la máquina aerostática llegaría a ser un elemento imprescindible para la observación de los vientos, contribuyendo así al consiguiente perfeccionamiento de esta rama de la meteorología. Lo mismo que ocurrió con los globos que partieron desde la Muette, las Tullerías o los Campos de Marte el año anterior²², su propia experiencia le demostró que «a cierta altura, la atmósfera dejaba de estar agitada

²² Vuelos realizados en globos los hermanos Montgolfier y de Charles. Véase VALLES I ROVIRA, *op. cit.*, pp. 29-40.

con el mismo ímpetu y dirección que en la superficie de la tierra²³. Cuando Guyton y el abate Bertrand se elevaron el 25 de abril, el viento de oeste-noroeste era tan fuerte que, a pesar del fuerte empuje ascendente, arrastraba el aerostato obligándole a describir una curva de 140 o 150 pies de radio; sin embargo, al alcanzar los 300 pies de altura, dejaron de experimentar turbulencias y la pequeña llama que encendieron en la proa de la nave no sufrió ni la más mínima agitación, estado en que continuó cuando el globo alcanzó el punto más alto de su vuelo. Tomando como referencia la plomada y los puntos señalados por las cuerdas que pendían del círculo ecuatorial de la nave, confirmaron que el aerostato no vio alterada su trayectoria por ninguna corriente horizontal; sólo al descender y encontrarse cerca de la superficie terrestre volvió el globo a ser zarandeado por el viento. La conclusión fue que éste se originaba en las capas inferiores de la atmósfera, confirmando así lo que desde tierra se había observado frecuentemente: a menudo, las veletas indicaban que la dirección del viento no coincidía con la emprendida por las nubes.

En el momento del despegue, el barómetro marcaba 27 pulgadas y 6 líneas²⁴, mientras que el termómetro indicaba una temperatura de 11 grados sobre cero en la escala de Réaumur. Después de atravesar las primeras capas, hicieron nuevas mediciones: el barómetro había bajado a 20 pulgadas y 9 líneas, el termómetro a un grado y medio sobre cero y el higrómetro indicaba 59 grados en la escala de Retz²⁵ y 24,5 en la de Copineau²⁶. Las mediciones posteriores mostraban un descenso de la temperatura y de la presión con la altura, así como un grado creciente de sequedad en la atmósfera. El barómetro que llevaban fue construido por Goubert²⁷ y era en todo análogo al barómetro portátil de J. A. Deluc²⁸, con la excepción de que se había sustituido el

²³ GUYTON DE MORVEAU, et al., *op. cit.*, p. 113.

²⁴ 1 pulgada = 12 líneas; 1 línea = 2,257 milímetros.

²⁵ El higrómetro de Retz era una versión del higrómetro de Deluc. Ver MIDDLETON, W. E. K. *op. cit.*, p. 99.

²⁶ GUYTON DE MORVEAU, *op. cit.*, p. 181.

²⁷ Este constructor de instrumentos científicos trabajó en la calle Dauphine de París y en 1781 publicó una obra titulada *Description et usage des barometres, thermometres et autres instruments météorologiques*, muy estimada por el meteorólogo L. Cottes (véase W. E. K. MIDDLETON, *A History of the Thermometer and its use in Meteorology*, Baltimore, The Johns Hopkins Press, 1966, pp. 134-135).

²⁸ Los dos termómetros de su barómetro servían para hacer sendas correcciones: una en función de la temperatura del mercurio y otra en función de la temperatura del aire. Véase

grifo por un pistón deslizante en un tapón de corcho que se encontraba hundido en una tubuladura adaptada a la rama inferior; fue utilizado como altímetro²⁹ y, siguiendo la regla de Cassini y Miraldi³⁰, los aeronautas dedujeron que la altura alcanzada fue de 2.106 toesas³¹ (según la regla de Deluc³², 1.644 toesas).

El vuelo del 30 de mayo se vio frustrado al romperse el círculo ecuatorial del globo y una de las alas, por lo que tuvieron que postergarlo para el 12 de junio. Por aquellos días, las nubes estaban fuertemente cargadas de electricidad y tuvieron que adjuntar a la máquina un conductor y un electrómetro³³ para ponerse en guardia contra las explosiones del gas. El conductor consistía en un hilo de latón de una línea de diámetro y tres pies de largo, terminado en una punta fina; en el otro extremo había una trenza de falso galón enrollada de 110 pies³⁴ de largo; el hilo de latón apuntaba hacia delante y terminaba en dos bucles por los que pasaba un cordón de seda que tenía uno de sus cabos atado a la parte más avanzada del aerostato y volvía a pasar por

MIDDLETON, W. E. K., 1969, pp. 35-37 y TURNER, A., *Early scientific instruments, Europe, 1400-1800*, Londres, Sotheby's Pub, 1987, p. 261; también FELDMAN, Th. S., «Barometer», en BUD, R. & WARNER, D. J. (eds.), *op. cit.*: 52-54.

²⁹ Sobre los orígenes de la hipsometría barométrica, véase FELDMAN, Th. S., *op. cit.*, pp. 129-138.

³⁰ *Ibid.*, p. 133. También WOLF, A., *op. cit.*, p. 289: «Miraldi llegó a la regla de que una ascensión de 61 pies desde el nivel del mar correspondía a una caída de una línea en la columna barométrica; una elevación de 62 pies correspondía a una caída de una segunda línea, y que las sucesivas elevaciones de 63, 64,... pies deberían de corresponder a los subsecuentes descensos de presión. (*Mém. De l'Acad. Roy. des Sciences*, 1703). Esta regla fue adoptada por Cassini».

³¹ 1 toesa = 6 pies = 1,950 metros.

³² Deluc encontró la siguiente fórmula para determinar la diferencia de altura entre dos observatorios situados en los Alpes:

$$H = \{(\log c - \log b) + [(\log c - \log b) \times a] / 1000\} / 1000$$

Donde *a* es el número de grados por exceso o por defecto de la temperatura estándar (de su propia escala de temperatura); *b* es la altura del mercurio en el barómetro situado en el observatorio más elevado; *c* es la altura del mercurio en la columna barométrica situada en el observatorio menos elevado (véase WOLF, A., *op. cit.*, p. 300; también FELDMAN, Th. S., *op. cit.*, pp. 152-156).

³³ Una descripción completa del electrómetro puede verse en HACKMANN, W. D., «Electrometer», BUD, R. & WARNER, D. J. (eds.), *op. cit.*, 1998, pp. 208-211. Véase también TURNER, L'E., *Nineteenth-Century Scientific Instruments*. University of California Press, 1983, p. 200.

³⁴ 1 pie = 12 pulgadas = 32,5 centímetros.

un bucle de vidrio puesto a la misma altura y a poca distancia, en la proa de la nave³⁵ (fig. 1)³⁶. En cuanto al electrómetro, consistía en un vaso de vidrio cónico guarnecido en su base con hojas de estaño y portando en lo alto una vara de latón terminada en punta, de la cual había suspendidas en el interior, mediante hilos metálicos, dos pequeñas bolas de saúco. Estaba atado al conductor por un cordón de seda de forma que sólo podía tocarlo por su base³⁷ (fig. 1)³⁸.

El 12 de junio subieron a bordo Guyton de Morveau y Virly, un físico de la Academia de Ciencias de Dijon que le había ayudado anteriormente a experimentar con el peso del aire y el de los diferentes gases que pudieran haber servido para llenar el globo. Se proveyeron de un barómetro de Deluc, un termómetro de Réaumur, un higrómetro de Retz y otro de Saussure³⁹ (fig. 2) que indicaba 83,5° en el momento del despeque; además, llevaron dos botellas llenas de agua para vaciarlas en las alturas y tomar muestras de aire. Volvieron a experimentar las mismas modificaciones que en el viaje anterior: descenso del termómetro y del barómetro con la altura y disminución de la humedad del aire. Con la ayuda de una plomada iban comprobando todos los lugares que sobrevolaban y, gracias a la brújula, pudieron orientarse durante el trayecto; el abate Bertrand les seguía desde su observatorio con un anteojo y más tarde pudieron reunir todos los datos para trazar un plano del recorrido (fig. 3)⁴⁰. Pese a sus esfuerzos por manejar los mecanismos direccionales, llegaron a la conclusión de que fueron arrastrados por las corrientes de viento de las capas atmosféricas inferiores y que permanecían estacionarios en las superiores. Calcularon que la máxima altura

³⁵ GUYTON DE MORVEAU, *op. cit.*, p. 191.

³⁶ *Ibid.*, PL. II, Fig. 1, A, y Fig. 2, A, p. 226.

³⁷ *Ibid.*, p. 192.

³⁸ *Ibid.*, PL. II, Fig. 1, A, p. 226.

³⁹ El higrómetro de cabello de H. B. de Saussure data de 1775 y, como se sabe, se basaba en tres principios físicos: la dilatación de una sustancia, la saturación higrométrica de una cantidad de aire y la condensación de una cantidad de vapor de agua por enfriamiento. Saussure hizo dos versiones del mismo: uno de laboratorio y otro portátil, útil tanto en sus expediciones como en los futuros viajes aerostáticos. Ver SIGRIST, R., «Les Essais sur l'hygrométrie (1783) ou l'art de la mesure précise», *H. B. De Saussure (1740-1799), un regard sur la terre*, Paris, Bibliothèque d'histoire des sciences, 2001, pp. 113-117. Sobre higrómetros, consúltese MIDDLETON, W. E. K., 1969, pp. 81-132; también Th. S. FELDMAN, «Hygrometer», Bud, R & Warner, D. J. (eds.), *op. cit.*, pp. 313-315.

⁴⁰ *Ibid.*, PL. III, p. 227.

alcanzada fue de 812 toesas (según la regla de Deluc); allí, el higrómetro de Saussure indicaba $65,5^\circ$ y el de Retz 45° , en tanto que el termómetro de Réaumur estaba en 15° .

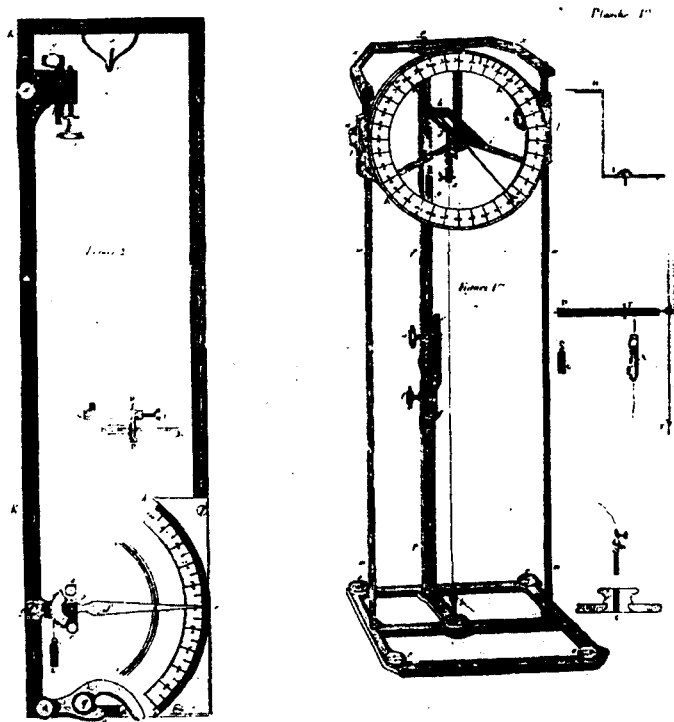


Figura 2. Higrómetros de H. B. de Saussure: portátil (izquierda) y fijo (derecha).
Fuente: H. B. Saussure, *Essais sur l'Hygrometrie*, Neuchatel, 1783.

Durante el proceso de construcción del globo, habían notado que las envolturas de tafetán podían adquirir un calor considerable y que su dilatación crecía proporcionalmente; el 3 de junio observaron que el globo, llenado en sus tres cuartas partes de aire caliente y dejado la noche anterior a la intemperie, alcanzó a las 8 de la mañana una altura de cuatro pulgadas y media, lo que suponía un aumento de volumen de 84 pies cúbicos según sus propios cálculos. Por otra parte, el aumento de temperatura podía verse incrementado por la exposición directa del globo a los rayos solares y, a raíz de su experiencia del 25 de abril, atribuyeron a la dispersión de unas nubecillas la refrigeración del ambiente y la con-

siguiente condensación del gas a una altura en la que el globo se encontraba estacionario⁴¹; por ello les pareció oportuno incorporar un instrumento para avisarles de las posibles contracciones o dilataciones del saco. Se valieron de uno construido en la propia Academia de Dijon⁴² y que consistía en un sifón de tres ramas; la primera era casi un capilar que comunicaba por un grifo con una vasija llena de aire; la segunda, muy gruesa, contenía un licor coloreado que subía y bajaba a medida que el aire de la vasija se rarificaba o condensaba y la tabla sobre la que se encontraba fijada llevaba divisiones en líneas y pulgadas cúbicas. Para que la indicación de las dilataciones fuera fiable, el instrumento debía de estar orientado hacia el sol, en la misma dirección en que lo estaba el globo; además, debería de contener la misma clase de gas que el globo y estar encerrado en un recipiente del mismo material que su envoltura⁴³.

No llegaron a hacer mediciones con el electrómetro; en cuanto a las botellas de agua, tampoco tuvieron ocasión de vaciarlas por miedo a deslastrar demasiado. Con todo, obtuvieron datos relevantes sobre el estado de la atmósfera y sus modificaciones con la altura; sus esfuerzos encontrarían más tarde merecida recompensa, pues la práctica que siguieron serviría de ejemplo a científicos que, como Biot y Gay-Lussac, terminarían por perfeccionar sus métodos y completar el trabajo.

«Relation d'un voyage aérostatique»

Con este título publicaron J. B. Biot y J. L. Gay-Lussac una memoria en la que relataban las experiencias aerostáticas del 24 de agosto y 16 de septiembre de 1804, cuando se propusieron realizar un estudio sobre ciertos problemas relativos a la atmósfera.

El fin principal del vuelo de agosto era examinar si la declinación magnética experimentaba alguna disminución al alejarse de la superficie terrestre. Sausure, a propósito de sus experiencias a 3435 metros de altura en los Alpes, creyó reconocerla y la evaluó en 1/5. Algunos físicos y aeronautas pensaron que esta propiedad se perdía totalmente al alejarse de la tierra en un globo. Para comprobar si realmente ocurría así, tan sólo se necesitaba un reloj y una aguja iman-

⁴¹ *Ibid.*, pp. 205-206.

⁴² Iba alojado en la proa de la góndola o cesta de la nave. *Ibid.*, PL II, Fig. 1, Y, p. 226.

⁴³ *Ibid.*, p. 206.

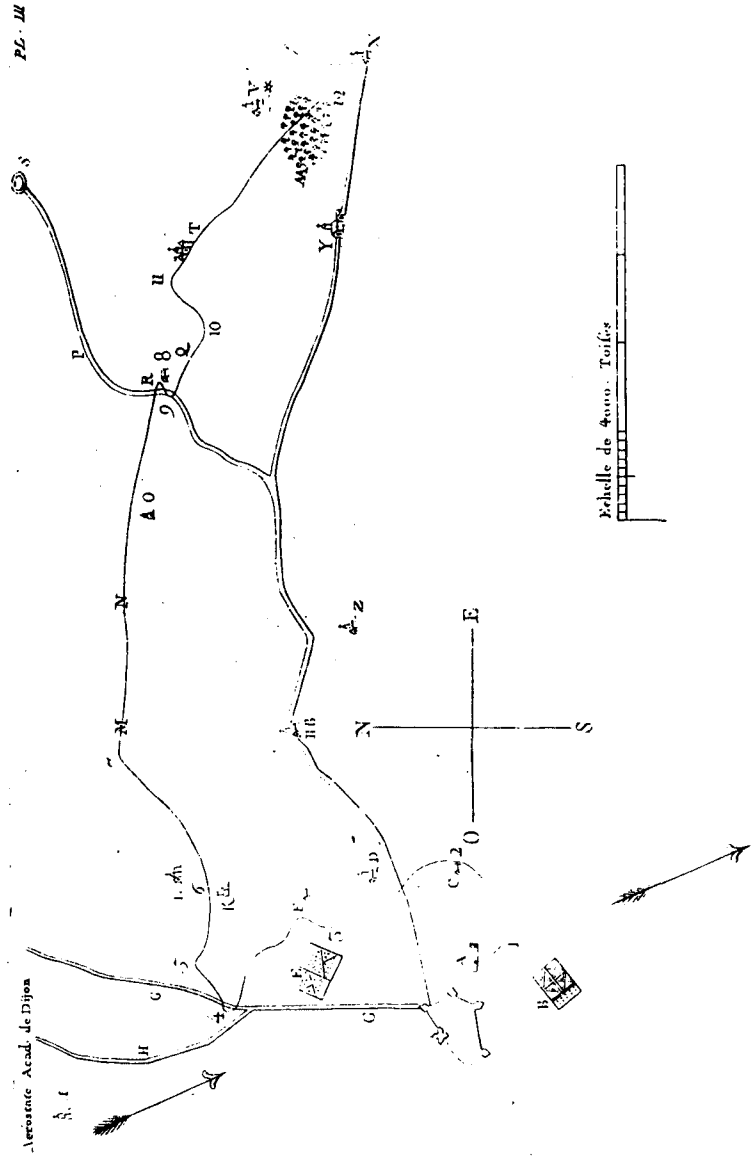


Figura 3. Trazado del recorrido efectuado por Guyton de Morveau el 12 de junio de 1784 en su globo. Fuente: Guyton de Morveau, et al., *Description de l'Aérostat*, 1784.

tada suspendida en un hilo de seda muy fino: al desviarla de su meridiano magnético y dejarla oscilar libremente, la velocidad de las oscilaciones indicaría el

grado de la fuerza magnética⁴⁴; el reloj lo proporcionó el prestigioso constructor parisino J. A. Lépine⁴⁵. Con el fin de no interferir en las mediciones, se evitó incorporar a la estructura del globo cualquier objeto metálico; los cuchillos y tijeras con los que embarcaron, fueron suspendidos de la nave a 10 metros por debajo de la cesta.

Otro de los objetivos del viaje era medir la electricidad del aire en las distintas capas atmosféricas, por lo que se proveyeron de hilos metálicos de diversas longitudes, desde 20 hasta 100 metros. También disponían de un electróforo cargado para determinar la naturaleza de dicha electricidad, habiendo sido frotada la resina en tierra antes de salir⁴⁶. También se propusieron tomar muestras de aire, valiéndose de un globo de vidrio cerrado en el que previamente se había hecho el vacío; portaban además termómetros, barómetros, electrómetros e higrómetros. Llevaban discos de metal con los que pretendían repetir las experiencias de Volta sobre la electricidad desarrollada por simple contacto⁴⁷ y viajaban con algunos animales, como ranas, pájaros e insectos para comprobar los efectos del vuelo en sus organismos.

⁴⁴ Los intentos por comparar las intensidades del campo magnético de la tierra en varias épocas y lugares empezaron a hacerse hacia finales del siglo dieciocho. El método empleado era comparar las frecuencias de oscilación de una aguja bajo diversas condiciones. Pioneros en este campo fueron el sueco F. Mallet (1769, *Novi Commentarii Academiae Scientiarum Petropolitanae*), el francés Borda (1766) y el explorador A. V. Humboldt. El último dibujó un mapa que mostraba las zonas de la superficie de la tierra en las que la intensidad del campo magnético terrestre era aproximadamente el mismo; para ello se basó en las medidas hechas durante su viaje a América (1799-1803) y que publicó en un artículo titulado «Sur les variations du magnétisme terrestre à différentes latitudes», en colaboración con Biot. Los datos fueron obtenidos al permitir a una aguja que oscilase en el meridiano magnético, observando después el número de oscilaciones ocurridas en diez minutos. Humboldt vio su descubrimiento de que la intensidad decrece desde el Polo hacia el Ecuador como el resultado más importante de su viaje a América. Ver WOLF, A. *op. cit.*, p. 273.

⁴⁵ (1720-1814). Ver LANDES, D. S., *Revolution in Time. Clocks and the Making of the Modern World*, Cambridge—Massachusetts—Londres, The Belknap Press of Harvard University Press, 1983, pp. 265, 266, 450.

⁴⁶ El electróforo ideado por Volta data del último cuarto del siglo XVIII y se utilizaba, como es sabido, para electrizar por medio del fenómeno de la influencia eléctrica. Véase HEILBRON, J. L., *Electricity in the 17th and 18th Centuries. A Study of Early Modern Physics*, Berkeley, University of California Press, 1982, pp. 416-418.

⁴⁷ Para demostrar esta conocida propiedad, Volta necesitó tan sólo unas placas metálicas, un condensador y un electrómetro. Ver WOLF, A., *op. cit.*, pp. 261-262. También HEILBRON, *op. cit.*, p. 414.

Salieron del Conservatoire des Arts et Métiers de París a las 10 de la mañana. A 2.000 metros de altura quisieron hacer oscilar la aguja, pero notaron que el aerostato experimentaba un lento movimiento de rotación que hacía variar la posición de la barquilla en relación a la de la aguja, lo que impedía observar el punto donde terminaban las oscilaciones. Mientras, observaron el desarrollo de la electricidad por el contacto de metales aislados y vieron que todo se producía de la misma manera que en la superficie terrestre. A 2.622 metros de altura, los animales no parecían sufrir ningún efecto pernicioso debido a la rarefacción del aire; el barómetro y el termómetro descendieron, pero no llegaron a sentir frío y la respiración se producía normalmente, si bien sus pulsos estaban algo acelerados. Tras realizar nuevos intentos con la aguja magnética, llegaron a la conclusión de que «la propiedad magnética no experimenta ninguna disminución apreciable desde la superficie de la tierra hasta los 4.000 metros de altura; su acción entre ambos límites se manifiesta constantemente por los mismos efectos y siguiendo las mismas leyes»⁴⁸

No pudieron observar exactamente la inclinación de la barra imantada, de modo que no les fue posible afirmar con certeza que no experimentara ninguna variación. Sin embargo, lo creyeron bastante probable, pues la fuerza horizontal no se veía alterada para nada. Por falta de tiempo y la indisposición de los aparatos, no pudieron hacer mediciones sobre la declinación, pero también creían que era poco probable que variase; se propusieron comprobar en un vuelo futuro la composición química del aire y si ésta sufría variaciones con la altura. En cuanto a la temperatura, el termómetro mostraba que decrecía con la altura, lo que coincidía con los resultados previamente conocidos; igual ocurría con la presión atmosférica. El higrómetro, por su parte, indicaba una progresiva pérdida de la humedad con la altura.

El 16 de septiembre, Gay-Lussac emprendió un nuevo vuelo —esta vez en solitario— desde el mismo punto de partida que el anterior y con el firme objetivo de realizar todas las mediciones que quedaron pendientes y algunas nuevas, para lo que se proveyó de un auténtico gabinete de física experimental. Desde el Observatorio de París, el astrónomo Bouvard⁴⁹ hizo un seguimiento del vuelo. A 3.032 metros de altura, Gay-Lussac hizo oscilar la aguja horizontal y obtuvo 20

⁴⁸ J. B. BIOT y J. L. GAY-LUSSAC, «Relation d'un voyage aérostatique», *Observations sur la physique*, 59, (1804): 317.

⁴⁹ A. Bouvard (1767–1843), astrónomo francés que llegó a ser director del Observatorio de París, descubridor de ocho cometas y autor de unas tablas astronómicas de Júpiter, Saturno y Urano. Ver *The New Encyclopaedia Britannica*, Londres, 1993, tomo 2, p. 434.

oscilaciones en 83s, mientras que en similares circunstancias en tierra se requerían 83,33s, lo que significaba una diferencia despreciable. A la altura de 3.863 metros, encontró que el ángulo de inclinación de la aguja era el mismo que en tierra. Después, quiso observar la aguja de declinación, «la sequedad, favorecida por la acción del Sol en un aire rarificado, era tal que la brújula se vio alterada hasta el punto de hacer que se curvase la aguja y que se plegase el círculo metálico sobre el que habían sido trazadas las divisiones»⁵⁰, así que tuvo que desistir. Gay-Lussac tomó unas medidas de la presión atmosférica que eran la resultante de hallar la media aritmética entre la indicación de dos barómetros. Las alturas alcanzadas fueron calculadas por el astrónomo Gouilly, según la fórmula de Laplace⁵¹.

Del análisis de sus mediciones, las cuales anotó en una tabla (*fig. 4*), Gay-Lussac dedujo que las temperaturas seguían una marcha irregular con las correspondientes alturas, lo que provenía, a su juicio, de que la columna de mercurio del termómetro no había registrado a tiempo las variaciones de temperatura atmosférica, cosa que se podría haber subsanado si el aerostato se hubiese elevado más lentamente. No obstante, la tendencia general de la temperatura era la de disminuir con la elevación; tomando el intervalo de altura comprendido entre la tierra y 3691 metros, comprobó que la temperatura había descendido desde 30,75°C hasta 8,5°C, por lo que al dividir la diferencia de alturas entre la diferencia de temperaturas, obtuvo un descenso de 1°C por cada 191,7 metros; repitiendo la misma operación con el intervalo comprendido entre 5,25°C y 0,5°C, así como 0,0°C y -9,5°C, obtuvo en uno y otro caso una elevación de 241,6 metros por cada grado de descenso de la temperatura, lo que parecía indicar que «hacia la superficie de la tierra el calor sigue una ley menos decreciente que en lo alto de la atmósfera, y que enseguida, a mayores alturas, sigue una progresión aritmética decreciente»⁵². El balance final fue que «el calor ha disminu-

⁵⁰ Gay-Lussac, J. L., Biot, J. B., op. cit., p. 455.

⁵¹ $H = 18336 (1 + 0,0024845 \cos \Phi) [1 + 2 (t + t') / 1000] \{[(1 + r) / a] \log (h / h') + (r / a) - 0,868589\}$

siendo: Φ = latitud del lugar; h = altura de la columna barométrica en la estación inferior; h' = altura de la columna barométrica en la estación superior; a = distancia del centro de la tierra a la estación inferior; $a + r$ = distancia del centro de la tierra hasta cierta altura de referencia; t = temperatura en la estación inferior; t' = temperatura en la estación superior. Esta fórmula es una revisión de la de J. A. Deluc y se admite para variaciones de la gravedad con la altura y la latitud (véase P. S. DE LAPLACE, *Traité de Mécanique Célest. t. 4.º*. « De la mesure des hauteurs par le baromètre ». París, 1805 – Bruselas, Culture et Civilisation, 1967, pp. 289-293.

⁵² GAY-LUSSAC, J. L., BIOT, J. B., op. cit., p. 456.

do como las alturas han aumentado y a cada grado de descenso de la temperatura corresponderá una elevación de 173,3 metros»⁵³

El higrómetro tuvo una marcha bastante singular. En la superficie terrestre estaba a 57,5°, mientras que a 3.030 metros marcaba 60°; a partir de ahí, descendió constantemente hasta que el globo llegó a 5.267 metros, donde el higrómetro indicaba 27,5°; después, hasta llegar a 6.884 metros, remontó gradualmente y se situó en 34,5°. Para interpretar dichos resultados era preciso tener en cuenta la temperatura, y entonces se podía ver que la humedad de la atmósfera seguía una progresión extremadamente decreciente con la altura.

En cuanto a las oscilaciones magnéticas, Gay-Lussac hizo la media de todas las observaciones realizadas en vuelo y concluyó que se requerían 42,16s para 10 oscilaciones de la aguja, mientras que el tiempo obtenido en tierra era de 42,20s, cantidad que difería muy poco de la anterior; en las capas más altas del aire, el tiempo era ligeramente inferior a 42,16s, diferencia que podía deberse a errores propios de este tipo de experiencias, lo que le llevó a la conclusión de que «el conjunto de los resultados que acabo de presentar confirma y extiende el hecho que ya habíamos observado M. Biot y yo, y que prueba que, lo mismo que la gravitación universal, la fuerza magnética no experimenta ninguna variación sensible en las más altas cotas donde pudimos llegar»⁵⁴. Gay-Lussac dio por bueno este resultado a pesar de no haber podido hacer experiencias sobre la inclinación de la aguja imantada, pues la fuerza horizontal no había variado, de modo que tampoco habría de hacerlo la fuerza magnética⁵⁵. Por otra parte, a la altura de 4.511 metros, acercó a la aguja imantada, en la dirección de la fuerza magnética, la extremidad de una llave; la aguja fue atraída por dicha extremidad y luego fue repelida por la otra. Similar experiencia, repetida a 6.107 metros, arrojó el mismo resultado: una prueba más de la invariabilidad del magnetismo terrestre con la altura.

A 6.561 metros, Gay-Lussac abrió uno de los globos de vidrio en los que había practicado el vacío y a 6.636 metros abrió el otro. Ya de regreso, decidió

⁵³ *Ibid.*, p. 457.

⁵⁴ *Ibid.*, p. 457.

⁵⁵ «La fuerza que hace oscilar la aguja horizontal es necesariamente dependiente de la intensidad y de la dirección de la fuerza magnética misma, que está representada por el coseno del ángulo de inclinación de ésta» (*Ibid.*, pp. 457-458).

TABLEAU DES OBSERVATIONS.

Température exprimée en degrés de thermomètre Celsius, etc.	Moyenne des indications des deux lygonètres.	Hauteur moyenne du baromètre dans l'atmosphère ramené à celle d'un baromètre à niveau constant.	Hauteurs correspondantes ou : hauteurs de Paris.	Hauteurs correspondantes en toises au-dessus de Paris.	Nombre des oscillations magnétiques	Durée des oscillations expérimentales ou secondes.	Oscillations réduites au nombre commun 10.	Temps correspondant.	OBSERVATIONS.
0	0	cent.	0, 0	0, 0	30	126,5	10	42, 0	La première ligne représente les obser- vations qui ont été faites à terre avant le départ. Toutes les hau- teurs doivent être augmentées au moins de 39 mètres (20 toises) si on veut les compter à partir du niveau de la mer.
27,75	57,5	76,525	3332,01	1535,64	20	83,0	10	42, 16	
12,30	62,0	53, 81	3412, 11	1750,66				41, 5	
11,00	50,0	51, 43	3691,32	1893,92	10	42,0	10	42, 0	
8,50	37,3	40, 68	3816,79	1998,29	30	127,5	10	42, 5	
10,50	33,0	49, 05	4511,61	2314,84	30	125,5	10	41, 8	
		43, 28	4264,65	2188,08	20	86,0	10	42, 2	
12, 0	39,9	46, 66	4327,86	2220,51	20	84,5	10	42, 2	
11, 0	29,9	44, 04	4725,99	2428,89	30	128,5	10	42, 8	
8,25	27,6	43, 53	4888,74	2467,24	30	84,5	10	42, 2	
6,50	27,5	43, 53	4511,61	2314,84	30	127,5	10	42, 5	
8,75	29,4	45, 28	5001,85	2566,32	40	169	10	42, 2	
5,25	30,1	42, 49	5267,70	2702,74					
4,25	27,5	41, 14	5319,16	2831,74					
2, 5	32,7	39, 85	5671,85	2911,62					
0, 5	30,2	39, 01	5175,06	2654,68	30	126,5	10	42, 1	
1, 0	33,0	41, 41	6040,70	3099,32	20	84,0	10	42, 0	
3, 0	32,4	37, 17	6107,19	3133,44	20	127,5	10	42, 5	
1, 0	32,1	36, 96	5631,65	2889,45	20	82,0	10	41, 0	
0, 0	35,1	39, 18	6143,31	3532,07	20	83,5	10	41, 7	
3,25	33,9	36, 70	6884,14						
7, 0	34,5	33, 39	6977,37	3579, 9					
9, 5		32, 88							

Figura 4. Tabla de las observaciones hechas por J. L. Gay-Lussac el 16 de septiembre de 1804 durante su viaje aerostático. Fuente: «Relation d'un voyage aérostatique», *Observations sur la Physique*, 59 (1804): 462.

analizar las muestras en la Escuela Politécnica, asistido por los profesores de química Gresset y Thenard⁵⁶, observando por turnos y separadamente las lecturas del eudiómetro de Volta⁵⁷ y haciendo un análisis comparativo con el aire atmosférico tomado del patio de aquella institución. En todos los casos se obtuvieron resultados similares: 21,49% de oxígeno para el aire del primer globo y 21,63% del mismo gas para el segundo.

Idénticos resultados volvieron a obtener más tarde A. Von Humboldt y el propio Gay-Lussac⁵⁸. En 1822, Boussingault, discípulo de Biot y de Gay-Lussac, realizó ascensiones aerostáticas en Colombia y se mostró conforme con ellos, habiendo seguido el mismo procedimiento que su maestro⁵⁹. Por otra parte, J. Dalton, que no estaba de acuerdo con la composición cuantitativa del aire atmosférico encontrada por Gay-Lussac, realizó en 1833 ascensiones en globo a 2.888 y 4.500 metros de altura, obteniendo respectivamente un porcentaje de oxígeno de 20,52% y 20,59%; su conclusión fue que el aire atmosférico era más rico en oxígeno en las regiones habitadas y más rico en *azote* (nitrógeno) en las capas altas de la atmósfera⁶⁰. De modo que aún en la primera mitad del siglo XIX había autores que estimaban que la composición del aire atmosférico era de un 20% de oxígeno y el resto de nitrógeno; otros, pensaban que el porcentaje era

⁵⁶ De los dos citados, el más conocido es L. J. Thenard (1777-1857), autor de un influyente manual de química teórica y experimental y colaborador habitual de Gay-Lussac; fue también profesor de química de la Sorbona y diputado. Realizó trabajos sobre esteres y compuestos organofosfóricos y descubrió el peróxido de hidrógeno; fabricó un pigmento azul que en adelante sería muy utilizado en la coloración de la porcelana. Véase *The New Encyclopaedia Britannica*, op. cit., tomo 11, pp. 683-684.

⁵⁷ Sobre el eudiómetro de Volta, puede verse TURNER, G. L'E., op. cit.; p. 224. Más detalles se pueden encontrar en ROBERTS, L., «Eudiometer», BUD, R. & WARNER, D. J. (eds.), op. cit., pp. 232-234, donde también se habla de otras clases de eudiómetros y de los principios en que se basa su funcionamiento.

⁵⁸ «Expériences sur les moyennes eudiométriques et sur la proportion des principes constituyants de l'atmosphère», *Observations sur la physique*, 60 (1804), pp. 129-168.

⁵⁹ Para efectuar su análisis, contó con la colaboración de Dumas; fue publicado en «Recherches sur la véritable constitution de l'air atmosphérique», *Annales de Chimie et de Physique*, 3, III, nov. 1841, pp. 257-305.

⁶⁰ También H. B. De Saussure era de esta opinión; una vez tomadas las muestras de aire en el Col du Géant y en el Mont Blanc, las analizó siguiendo el método de Priestley, mezclando 1/3 de aire nitrroso con 2/3 de aire común y midiendo la contracción con el eudiómetro de Volta. Llegó a la conclusión de que la proporción de oxígeno oscilaba en torno al 22%, aunque disminuía con la altura. Véase: M. GRENON, «Les Observations météorologiques et climatiques de Saussure», en *H. B. De Saussure (1740-1799), un regard sur la terre*. París, Bibliothèque d'Histoire des Sciences, 2001, p. 151.

21% de oxígeno y 79% de nitrógeno; por fin, algunos sostenían que el aire variaba su composición cuantitativa con la altura⁶¹.

Los inicios de la aerostación científica en España

Los globos aerostáticos tuvieron, desde el primer momento de su recepción en España, una favorable acogida en los ámbitos científicos. Durante los primeros años, la aerostación se centró en el debate sobre la idoneidad de los globos de hidrógeno frente a los de aire caliente, en los proyectos para dirigirlos y en cuestiones aerométricas y gravimétricas; la mayor parte de los experimentos realizados en Castilla, Valencia y Cataluña estaban destinados a probar aquellos gases como propulsores de los globos, lo que no era óbice para que numerosos autores fuesen conscientes de la importancia de usar instrumentos científicos en las ascensiones y de la multitud de aplicaciones de dichos ingenios aéreos.

Así, P. A. De Salanova y Guilarte⁶² creía firmemente que desde los globos se podrían realizar observaciones astronómicas; la razón que aducía era que, al

⁶¹ En diciembre de 1795, el catalán A. Martí i Franqués vio publicada en Continuación del Memorial Literario, Instructivo y Curioso de la Corte de Madrid su «Memoria sobre los varios métodos de medir la cantidad de ayre vital de la atmósfera», en la que demostraba que la composición del aire atmosférico era bastante similar a la encontrada por Gay-Lussac, pero utilizó un eudiómetro de su propia invención y sulfuro saturado de mofeta (nitrógeno) como reactivo; en efecto, llegó a la conclusión de que el aire de la región donde vivía no estaba sometido a variaciones de ninguna clase en su composición, manteniéndose constantes las proporciones de 21% a 22% de oxígeno y 78% a 79% de nitrógeno, sin influir para nada ni la humedad ambiental, ni el estado eléctrico de la atmósfera, ni las variaciones de temperatura o presión (ver *op. cit.*, p. 392). Puesto que, como él mismo afirmó, la composición del aire no variaba con las diferentes lecturas del barómetro, cabía esperar que tampoco lo hiciera con la altura. El eudiómetro de Martí, de su propia invención, consistía en «un tubo de cristal de 5 líneas de diámetro, y largo 10 pulgadas, está cerrado por uno de los extremos, y por este lado dividido en cien partes iguales, siendo de línea cada una de ellas, y que todas juntas comprenden á poca diferencia la capacidad de una onza de agua» (*Ibid.*, p. 357). Su uso era sencillo: se llenaba el tubo de agua, en posición vertical y boca abajo, con el dedo pulgar en su abertura, para dejar que pasase poco a poco el aire exterior hasta ocupar 100 líneas, momento en que se sumergía el tubo en un recipiente con agua hasta adquirir su temperatura; luego se volvía a sacar y se comprobaba si el aire excedía o no las 100 líneas y se introducía éste en un frasco con reactivo que se tapaba y se sacudía durante cinco minutos para trasvasarlo luego al tubo graduado y leer los porcentajes.

⁶² Astrónomo, meteorólogo y redactor del Diario de Madrid; entre 1786 y 1795 realizó numerosas observaciones meteorológicas desde el Observatorio Astronómico de Madrid; véase LÓPEZ PINERO, J. M. y otros, *Diccionario histórico de la ciencia moderna en España*, Barcelona, Península, 1983, vol. 2, pp. 282-283. Sobre las cuestiones referidas, véase SALANOVA y GUILARTE, *Estática del ayre y náutica de la atmósfera, o disertación físico-matemática sobre el origen, la invención, historia, fábrica, disposición, utilidades y perjuicios de las Máquinas o Globos Aërostáticos*, Madrid, 1795, pp. 73-76.

encontrarse el aire más limpio y libre de refracciones en las alturas⁶³, se verían mejor los cuerpos celestes; también veía su utilidad en geografía y en topografía, pues se podrían determinar de forma bastante exacta, gracias a los telescopios, las posiciones y distancias recíprocas entre los lugares de la superficie terrestre. Incluso contemplaba la posibilidad de usar los globos para levantar cuerpos pesados o sacar barcos del fondo del agua⁶⁴. En pneumática, los globos podrían ser muy útiles para reconocer la fluidez, el peso y la elasticidad del aire. Y, como cabía esperar, las aplicaciones de los globos a las investigaciones atmosféricas eran numerosas: estudio de las corrientes del aire, alteraciones y variaciones del termómetro y del barómetro con la altura, posibles modificaciones del magnetismo terrestre, declinación de la aguja náutica, efectos y modificaciones de la electricidad de la atmósfera⁶⁵, propagación del sonido en el aire, refracción y refrangibilidad de los rayos solares al atravesar un prisma, etc.

⁶³ En la tercera parte de su obra, Salanova explica que cuanto más alejado estuviese el aire atmosférico de la superficie terrestre, más se parecería al éter newtoniano.

⁶⁴ En 1784, Guyton de Morveau presentó a la Academia de Ciencias de Dijon un método para extraer aguas de las minas inundadas valiéndose de un globo de hidrógeno y lo incluyó en un apéndice de su obra referida (pp. 219-224).

⁶⁵ Salanova expone una curiosa teoría de la formación de los rayos que relaciona con las leyes de la hidrostática y con la acumulación de fluido eléctrico en la Tierra y en las nubes. La razón que aduce es que considera que ambos cuerpos son auténticas botellas de Leiden cargadas de electricidad, pero en diferente cantidad, de modo que ésta, como todo fluido, tiende a equilibrarse pasando de uno a otro, momento en que se produce el rayo; éste fluye por el aire, conductor que comunica la Tierra con las nubes y, puesto que por lo general la primera está más cargada que las segundas, el autor afirma que el rayo será casi siempre ascendente (véase Salanova y Guilarte, P. A., *Disertación físico-eléctrica sobre las tempestades seguidas que acaecieron en Madrid los días 20 y 21 de Junio del corriente año de 1792, y efectos de las fulminaciones que arrojaron á casa de Don Nicolás de los Heros, con su declaracion circunstanciada*, Madrid, 1792, pp. 77-94). Obviamente, si los globos aerostáticos se elevaran provistos de electrómetros, se podría averiguar el estado eléctrico de las nubes, compararlo con el de la Tierra y prevenirse contra los rayos; fue precisamente esto último —y aun fueron más lejos— lo que ya apuntaron los redactores del *Mercurio Histórico y Político* del mes de octubre de 1783, sólo que atribuían las causas del rayo y de los fenómenos meteorológicos acusos al traspaso de fluido eléctrico entre dos nubes desigualmente cargadas: «Una de las consecuencias que Mr. Quinquet saca de sus experimentos, es que podemos, por medio de los conductores eléctricos, preservar nuestros edificios de los rayos; pero las puntas que bastan para substraer la materia eléctrica de las nubes, no pueden extender su acción hasta las regiones mas elevadas en que se forman las tempestades. Quizá la máquina aerostática de Mr. Montgolfier, dispuesta de modo que sirviese de conductor, y siendo, como es, capaz de elevarse á alturas muy considerables, podría substraer á las nubes mas altas su materia eléctrica, y traspasarla á un estanque, á un pozo, á un río ó á un arroyo, que servirían de receptáculo de la materia eléctrica, preservando de este modo las viñas, sembrados y frutales de

De parecida opinión era J. Viera y Clavijo⁶⁶, considerado durante mucho tiempo como el introductor de los globos aerostáticos en España⁶⁷ y quien expuso, casi nueve años antes de que lo hiciera Salanova, ideas similares:

XIX

Lo eléctrico del ayre y variaciones,
 La Física sabrá por esta vía
 Y sin nubes verá ni refracciones,
 Cometa, eclipse, o faz la Astronomía;
 Sus límites, sus grados, y extensiones,
 Podrá fixar mejor la Geografía;
 El comercio y Milicia harán progresos,
 La maquinaria elevará más pesos.⁶⁸

Incluso se atreve a hacer algunos pronósticos más arriesgados:

XXI

Bien podrá ser que un día la Fortuna
 Haga nacer otro Colón segundo
 Que emprenda navegar hasta la Luna,
 Como aquel hizo viage al nuevo mundo;
 Que un Herschel lince, sobre tal coluna,
 Nuevos planetas halle en el profundo;
 Y que algun Fontenelle tanto viva,
 Que ande los astros y su Historia escriba.⁶⁹

Por cierto, al volver Viera y Clavijo a España, tras su formación en París, colaboró con el marqués de Santa Cruz para montar un laboratorio de física y quí-

los efectos del granizo, cien veces mas dañosos que los del rayo. Si las experiencias de esta máquina en globos grandes prosiguen, como hasta ahora, justificando la invencion y perfeccionándola, se podrá responder con ésta, y otras muchas aplicaciones á los que desdeñosamente preguntan para que ha de servir la máquina de Mr. Montgolfier» (pp. 131-132).

⁶⁶ (1731-1813). Viera fue de J. A. Sigaud de la Fond en París, de quien aprendió química, así como de J. Ingenhousz en Viena. Véase LÓPEZ PIÑERO, J. M. y otros, *op. cit.*, vol. 2, pp. 412-413.

⁶⁷ Hoy sabemos que el primer globo español fue construido por el también canario Agustín de Betancourt. Ver UTRILLA NAVARRO, L., «El primer globo español», Betancourt, *Los inicios de la ingeniería moderna en Europa*, Madrid, CEHOPU-CEDEX, 1996, pp. 49-54.

⁶⁸ José VIERA y CLAVIJO, *Los ayres fixos*, Madrid, 1784, edición de 1876, Canto VI, p. 49.

⁶⁹ *Ibid.*, pp. 49-50.

mica en la casa de éste; gracias a la mediación de A. J. Cavanilles⁷⁰, que aun permanecía en París, intentaron comprar parte del utillaje científico de Sigaud de la Fond, pero, ante la negativa del físico francés, tuvieron que encargarlos expresamente a varios constructores parisinos y al célebre técnico español D. Rostriaga⁷¹. Fue así como Viera pudo repetir los experimentos de su maestro y realizar varias pruebas con vejigas de animales llenas de hidrógeno⁷²; además, adquirió una gran cantidad de conocimientos sobre experiencias aerostáticas, así como de física, química y botánica gracias a la correspondencia que mantenía con Cavanilles⁷³.

Por lo demás, hasta la llegada de V. Lunardi a España, en 1792, los vuelos en globo no fueron tripulados. Hubo un intento frustrado, protagonizado por el francés Ch. Bouche, en Aranjuez⁷⁴, tras su éxito en el lanzamiento de un globo de aire caliente en Valencia el 12 de marzo de 1784⁷⁵ (dicho globo fue decorado por el propio aeronauta, pintor de profesión, que incluyó una imagen en la envoltura del globo en la que se podía ver «un león en actitud de custodiar diferentes instrumentos pertenecientes a la ciencia aerostática»⁷⁶). Después de la experiencia de Bouche en Aranjuez, «ni las crónicas periodísticas ni los impresos anónimos recogieron ninguna otra información relativa a la actuación de algún aeronauta en el territorio del Estado español, hasta que llegó a Madrid Lunardi en 1792»⁷⁷. Ni

⁷⁰ (1745–1804). En sus *Cartas a José Viera y Clavijo*, (edición a cargo de A. Cioranescu, Aula de Cultura de Tenerife, 1981), aportó numerosos datos sobre los globos aerostáticos y de los acontecimientos que en torno a ellos sucedieron en Francia.

⁷¹ (1713–1783). Rostriaga estudió en el Convento de Atocha de Madrid, donde se interesó por la construcción de relojes; más tarde, llegó a ser nombrado relojero de Fernando VI y, en 1764, ingeniero de instrumentos de física y matemáticas y primer maquinista de física en el Real Seminario de Nobles. Ver GUIJARRO, V., *Los instrumentos de la ciencia ilustrada*, Madrid, UNED, 2002, pp. 121-125.

⁷² Véase UTRILLA NAVARRO, L., *op. cit.*, pp. 50-51.

⁷³ Así, en su carta del 4 de mayo de 1784, le comenta el vuelo de Guyton de Morveau del 25 de abril del mismo año en Dijon. Véase CAVANILLES, A., *op. cit.*, p. 64.

⁷⁴ 6 de junio de 1784. Globo de aire caliente que fue encargado construir a Bouche por orden del infante D. Gabriel. La nave se incendió y el aeronauta se vio obligado a lanzarse desde la galería a tierra, sin sufrir daño. Ver VALLÈS I ROVIRA, I., *La màgia del vol*, Barcelona, Alta Fulla, 1985, pp. 68-73.

⁷⁵ El relato de este acontecimiento fue publicado en la *Gazeta de Madrid* del viernes, 23 de abril de 1784. En el artículo se menciona que previamente se soltó un globo de 28 pulgadas de diámetro, lleno de *gas inflamable*, para observar la dirección y la fuerza del viento, cuyo vuelo duró 35 minutos. Como ya venía siendo costumbre, en el globo de aire caliente embarcaron algunos animales domésticos para comprobar los efectos en sus organismos.

⁷⁶ *Ibid.*

⁷⁷ Vallès i Rovira, I., *op. cit.*, p. 84.

siquiera F. Salvà i Campillo⁷⁸, que intervino activamente junto con F. Sanpons i Roca⁷⁹ en la construcción de sendos globos que se elevaron desde Barcelona el 30 y el 31 de enero de 1784 por encargo de la Academia de Ciencias Naturales y Artes de aquella ciudad⁸⁰, consiguió realizar un vuelo aerostático (*fig. 5*). Sin embargo, ambas experiencias sirvieron para confirmar una vez más algunas cuestiones relativas a la meteorología y a la hipsometría:

Por las relaciones de los nuevos Argonautas consta, que à ciertas alturas se hallan diferentes corrientes de ayre con direcciones diversas, asi como en el mar se hallan los vientos Alisios con direcciones constantes. Los calculos de Mr. De Luc sobre las varias alturas halladas por el barómetro, y las que se podrian hacer con el termómetro, servirian como de bruxula para encontrar las corrientes, y la direccion que se desee.⁸¹

⁷⁸ (1751–1828). Médico y físico; construyó diversos instrumentos científicos, como barómetros, termómetros e higrómetros. Véase Guijarro, V., «El barómetro y los proyectos meteorológicos de la Ilustración», en este mismo número. También IGLÉSIES FORT, J., «La Real Academia de Ciencias Naturales y Artes en el siglo XVIII», *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, tercera época, núm. 707, vol. XXXVI, núm. 1 (1964): 205-213.

⁷⁹ (1756–1821). Médico, físico e ingeniero que colaboró con F. Salvà i Campillo en numerosas investigaciones científicas. *Ibid.*, pp. 219-222.

⁸⁰ «El 3 de este mes de Enero se abrió una subscripcion nacional (por los Doctores Salvà y Sanpons) para hacer una por medio de la rarefacción del ayre con el fuego, ò como vulgarmente se llama, llena de humo de paja... El viento fuerte que reynó algunos días, impidió hacer la experiencia hasta el 30 à las ocho de la mañana» (GAMBORINO, M., *Experiencias aerostáticas en Barcelona*, Barcelona, 1784. El informe carece de numeración de páginas). El mismo día 30, a instancias de la Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, se propuso llenar otro globo con hidrógeno, extraído de diversas sustancias y por diversos procedimientos, en el jardín del palacio del conde de Aranda; se soltó el día siguiente y, aunque el autor proporciona datos sobre las lecturas barométricas y termométricas en tierra, sólo da una idea de la altura alcanzada en los diez primeros minutos gracias a la cuerda de 360 varas castellanas a la que estaba atado el globo (*Ibid.*).

⁸¹ GAMBORINO, M., *op. cit.*



Figura 5. Ilustración de M. Gamborino que reproduce el primer globo lanzado en Barcelona. Estaba hecho de papel y su forma era una pirámide de base heptagonal. Tenía 20 pies de diámetro, 30 de altura y albergaba 8049 pies cúbicos de aire caliente; a bordo se encerró una gallina en una jaula (que volvió sana). El vuelo duró ocho minutos y la altura alcanzada por el aerostato fue de 450 toesas.

Fuente: M. Gamborino, *Experiencias aerostáticas en Barcelona*, 1784.

En general, la importancia de llevar instrumentos científicos a bordo no pasó desapercibida, al menos por lo que respecta a su utilidad como altímetro y para controlar las dilataciones del gas:

XIV

El Barometro fixa con acierto
 Cárlos al barco que huye en alto bordo,
 Y Roberto hábil, y también experto,
 Inventariaba riquezas á bordo;
 Suben adonde el Sol esta despierto,
 Y adonde frio suena el ayre sordo,
 Que al arribar de Mousseaux á la izquierda,
 Ya el carro caminaba sin la cuerda⁸².

Como tampoco el hecho de que el frío se dejara notar más en las alturas, llegando a producir grandes molestias a los aeronautas:

⁸² QUEIPO DE LLANO y VALDÉS, J. J., *Canto que en elogio de la brillante invencion del Globo Aerostatico y famosos viages aëreos escribia Cypariso, labrador asturiano*, Madrid, 1784, p. 7. Este poema narra, principalmente, la hazaña de Charles y Robert del 1 de diciembre de 1783.

XLVII

Ni el dolor se disipa, ni destierra,
 Aunque usa de reparos convenientes,
 Hasta tanto que el centro de la tierra,
 Se retira con pasos diligentes;
 La sensación, que el ayre frio aterra,
 Disipan los vapores ya calientes,
 Y trata de dexar aquesta empresa,
 Y de cumplir al Duque la promesa⁸³.

El contenido de ambas estrofas coincide con las propias declaraciones de Charles, quien más que efectuar observaciones meteorológicas propiamente dichas, utilizó el termómetro y el barómetro como instrumentos de navegación.⁸⁴

⁸³ Se refiere al duque de Chartres, que fue testigo del vuelo de Charles y le felicitó por ello y por las utilidades prácticas del globo de hidrógeno (*Ibid.*, p. 24).

⁸⁴ «Yo, sin embargo, no perdía de vista el barómetro; y Mr. Robert inventariaba las riquezas que teníamos a bordo... Entonces estaba el barómetro casi á 26 pulgadas, y habíamos cesado de subir, esto es, nos hallabamos elevados cerca de 300 toesas, que era la altura á que habíamos determinado mantenernos. En efecto, desde aquel instante hasta el en que desaparecimos á los ojos de los observadores, caminamos horizontalmente éntre 26 pulgadas, y 26 pulgadas y 8 líneas, lo qual se halló comprobado con las observaciones hechas en París... El termómetro se mantuvo mas de una hora éntre 10 y 12 grados debaxo de cero, lo qual procedió de que el interior de nuestro carro se habia calentado con los rayos del Sol. El mismo calor se comunicó á nuestro globo, el qual mediante la dilatación del ayre inflamable interior, continuó manteniéndose á la misma altura, sin necesidad de arrojar lastre... Desde mi partida empezé á tomar las precauciones necesarias para liberarme del peligro de la explosion del globo, y me dispuse á hacer las observaciones que tenia meditadas; y desde luego, con el fin de observar el barómetro y el termómetro, colocados en la extremidad del carro... El globo, que á mi partida tenia muy poca tension, se hinchó insensiblemente, y á poco empezó á salir el ayre por el apéndice con mucha fuerza. Entonces abrí de quando en quando la válvula para facilitarle á un mismo tiempo su salida, y de este modo continué en subir perdiendo ayre, el qual salia silvando y en forma de humo, ó como un vapor caliente que pasa por una atmósfera muy fria. La razon de este fenómeno es clara y sencilla. En tierra estaba el termómetro á 7 grados encima de la congelación; al cabo de 10 minutos de ascensión, se hallaba á 5 grados debaxo de la congelación; y ya se dexa conocer que el ayre inflamable contenido no habia tenido tiempo de ponerse en equilibrio de temperamento, y que, siendo su equilibrio elástico mucho mas pronto que el del calor, debia salir una porcion de ayre mucho mayor que la que podia producir la dilatación exterior del ayre por su menor presion... Quando el barómetro cesó de subir noté puntualissimamente 18 pulgadas y 10 líneas; y de su oscilación, que no era perceptible, inferí hallarme en un altura de cerca de 1524 toesas... En medio del extásis en que me hallaba, el qual no puede explicarse con palabras, me asaltó un dolor extraordinario en la oreja derecha, efecto sin duda así de la dilatación del ayre contenido en la textura celularia del organismo; como de la frialdad del ayre en aquella region.» CHARLES, J. A. C., en el discurso preliminar a uno de sus cursos de física experimental que fue publicado en *Mercurio Histórico y Político*, diciembre (1783), vol. II: 308-323.

De los tres viajes en globo protagonizados por Lunardi en Madrid, el del 8 de enero de 1793 será el que más nos interese. Desde su llegada a España, el célebre aeronauta italiano fue presentado en la corte por el duque de la Roca, quien convenció al rey para que se realizaran experiencias aerostáticas con fines científicos, especialmente los destinados al análisis del aire atmosférico y las variaciones de la temperatura, presión y humedad de la atmósfera con la altura. Lunardi colocó en la barquilla «un termómetro y un barómetro arreglados, como una bruxula y botellas llenas de agua, todo con animo de hacer en los ayres observaciones relativas á los diversos temperamentos de las partes de la atmosfera; á la elevación ó descenso del barómetro, que indica la altura á que habrá subido, y á los rumbos que le habrán designado las corrientes del ayre, trayendo por especial comision de S. E. una botella de ayre superior»⁸⁵. No deja de ser importante el hecho de que Lunardi recabara datos sobre las modificaciones de las condiciones atmosféricas con la altura⁸⁶ y de que, una vez más, llegara a las mismas conclusiones que los que le precedieron. Como ya era habitual, llevaba a bordo animales domésticos, los cuales no sufrieron ningún daño durante su viaje⁸⁷. También pudo comprobar Lunardi lo mismo que Guyton de Morveau hizo nueve años antes al observar el comportamiento del viento: «que las corrientes del ayre en las diversas capas de la atmosfera no llevan una dirección constante y uniforme»⁸⁸.

La botella con la muestra de aire tomada a la mayor elevación de su trayecto⁸⁹, fue entregada a dos farmacéuticos de los Reales Hospitales para su análisis: F. Hicedo y J. Gómez, quienes actuaban bajo las órdenes de J. Meneses,

⁸⁵ *Diario de Madrid*, 10 de enero de 1793.

⁸⁶ «El termómetro de Fahrenheit señalaba los 52 grados, y el de Réaumur los 10: esto es el tiempo templado. El barómetro estaba á los 24 grados y el higrómetro fixo en el ayre en calma, y manifestando un tiempo sereno; la aguja señalaba el Nornoroeste» («Informe escrito en italiano por el Capitan Don Vicente Lunardi y traducido al Castellano, en que refiere todo lo ocurrido en su ultimo viage aereo», *Diario de Madrid*, 15 de enero de 1793).

⁸⁷ Tampoco Lunardi padeció ningún mal: «Tengo la honra de poner noticia á V. E. Que hoy Martes á las cinco y quarto de la tarde he baxado por tercera vez, sin experimentar novedad alguna en mi salud» (*Diario de Madrid*, 11 de enero de 1793).

⁸⁸ *Ibid.*

⁸⁹ «Mi reloj señalaba las dos y media de la tarde, quando en la elevación á que ascendí señalaba el barómetro los veinte y tres grados, y el termómetro cinco grados sobre el yelo. En esta altura, que fue la mayor que logré, fue menester que bebiera agua y licores para poder llenar principalmente una botella de ayre superior, ya que no habia podido obtenerlo antes, con animo de desempeñar el particular encargo que me hizo el Excmo. Sr. Duque de la Roca, para que después se analizase este ayre, y se averiguaren las propiedades y modificaciones que contiene, según lo habia deseado S. E. Después de haberla llenado del todo la tapé perfectamente con un corcho, y corté un pedazo del cuello del

alumno del director del Real Laboratorio de Química de Madrid y miembro de la Real Academia de Ciencias Naturales y Artes de Barcelona⁹⁰ P. Gutiérrez Bueno⁹¹. La operación se efectuó con sumo cuidado, introduciendo la botella en un «aparato neumato-químico»⁹² para evitar cualquier mezcla con el aire del laboratorio; resultó que la densidad de la muestra recogida por Lunardi era un 66% inferior a la del aire del lugar en que se encontraban. En dicho aparato hicieron las comparaciones relativas del aire de la botella con el aire del laboratorio, valiéndose del eudiómetro de Fontana⁹³ (fig. 6); tras observar los grados de absorción de ambas muestras de aire por el *gas nitroso*, «se vio que cada cien partes de este ayre, contenía veinte y siete del gas oxígeno, y setenta y tres del gas azoótico. Repetimos los mismos ensayos con el ayre de la calle de Alcalá, y la uniformidad de los resultados, asegurandonos de la operación, nos hizo conocer que las partes constituyentes del ayre analizado, eran casi iguales á las de este último. En esta inteligencia podemos asegurar con datos innegables, que el ayre que corre en las alturas regulares sólo se diferencia del que nos rodea por estar más enrarecido, ó bien por el menor peso que gravita sobre él, ó por la variación de su temperatura»⁹⁴. Resultado que, salvo en lo concer-

Globo, con el qual le envolví la boca y le até con firmeza, todo á efecto de que no pudiera salir nada del ayre que contenía, ó que se mezclase con el que reinaba en las partes más baixas de la atmósfera» («Informe escrito en italiano por el Capitán Don Vicente Lunardi y traducido al Castellano, en que refiere todo lo ocurrido en su ultimo viage aereo», *Diario de Madrid*, 16 de enero de 1793).

⁹⁰ Véase IGLÉSIES FORT, J., *op.cit.*, pp. 226-227.

⁹¹ Por aquellas fechas, Gutiérrez Bueno era director del Real Laboratorio de Química de Madrid y disfrutaba de gran autoridad y prestigio en el mundo científico madrileño. Fue él quien proporcionó todo el utillaje y quien diseñó las directrices del experimento: «D. Pedro Gutiérrez Bueno, Catedrático por S. M. De dicho Real Laboratorio, nos franqueó todos los instrumentos y máquinas correspondientes a la operación que debíamos hacer, para examinar la naturaleza, y qualidades del ayre contenido dentro de una botella, en la qual había sido encerrado por D. Vicente Lunardi, quando se hallaba á la mayor elevación de su ultimo viage aerostático, hecho el día 8 de Enero de 1793 á presencia de SS.MM., y Real Familia» (*Diario de Madrid*, viernes, 18 de enero de 1793).

⁹² *Ibid.*

⁹³ Dicho instrumento se basa en la absorción del oxígeno por el gas nitroso (véase JORDI, R., «Situación científica del boticario Juan Ameller ante el estudio experimental de la salubridad del aire atmosférico por medio del Eudiómetro». Circular Farmacéutica, 288, jul.-sept. (1985): 214-248. Edición facsímil de la *Memoria sobre el verdadero modo de determinar los grados de salubridad de diferentes atmósferas por medio del eudiómetro del abate Fontana, y definición de este instrumento según dicho autor*, Real Academia de Ciencias Naturales y Artes de Barcelona, 1792. Martí i Franqués (op. cit., pp. 266-267) objetó que la prueba de Fontana presentaba muchos inconvenientes, consecuencia de la imperfección misma de su aparato.

⁹⁴ *Diario de Madrid*, 18 de enero de 1793.

niente a la composición cuantitativa del aire atmosférico⁹⁵, coincida con otros que ya hemos examinado.

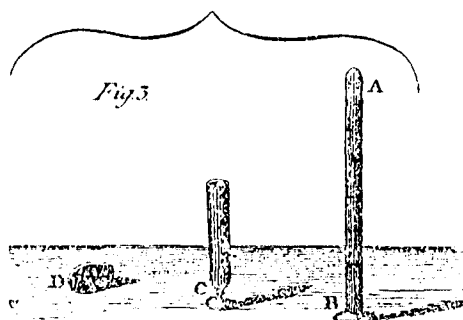


Figura 6. Eudiómetro de Fontana. Fuente: Sigaud de la Fond, J. A., *Elementos de Física Teórica y Experimental*, 1787, tomo 3, Lám. II, p. 76. Traducción española de Tadeo López Aguilar.

Lunardi decidió continuar su gira triunfal por Europa y realizó un memorable vuelo en Lisboa, el 24 de agosto de 1794. Hasta 1802, año en que regresó a España, las ascensiones en globos tripulados fueron más bien escasas: Joseph Campello se elevó el 10 de septiembre de 1797 en un globo cautivo a veinte metros de altura en Valencia; más prolífico fue Antoni Gull Macià, que en octubre de 1798 protagonizó otra ascensión en globo cautivo desde el huerto de Duclós (Valencia) y continuó sus experiencias hasta 1815, año en que murió cuando su globo libre chocó con la cima del campanario de la catedral. No se tienen noticias acerca del posible carácter científico de sus vuelos; probablemente fueron de exhibición, lo mismo que los efectuados por el francés Rogell en Valencia y Barcelona, de los que ni tan siquiera se dispone de documentación sobre el tipo de combustible utilizado. Por último, el 5 de noviembre de 1802, Lunardi se elevó en un globo de hidrógeno en Barcelona ante los reyes,

⁹⁵ A. QUINTANA I MARÍ (*Aportació dels primers aeronautas al coneixement de la química de l'aire a les darreries del segle XVIII*, Barcelona, Societat Catalana d'Historia de la Ciència i de la Tècnica, 1996, pp. 22-25) argumenta que la admiración inquebrantable de Gutiérrez Bueno por los químicos franceses, que seguían el método de Fontana para determinar la salubridad del aire atmosférico, contrasta con el rigor experimental de Martí i Franqués, más acertado en sus análisis. Probablemente el prestigio y la autoridad de Gutiérrez Bueno influyeron de forma negativa en el experimento de Hicedo y Gómez, que aceptaron sin más el dogmatismo impuesto por éste.

que se habían trasladado allí para celebrar la boda de su hijo Fernando con la princesa de Nápoles, y la del hermano de ésta con Isabel, infanta de España; parece ser que el fuerte viento reinante arrastró el globo hacia el mar y tuvieron que sacarlo de allí unos marineros.

Poco más se puede añadir sobre los vuelos tripulados; la invasión napoleónica sumió a España en un período de declive económico y científico y los pocos vuelos que llegaron a efectuarse tenían un trasfondo festivo. Las potencias europeas⁹⁶, por el contrario, más fuertes económica y militarmente que España, buscaron la aplicación de la aerostación a la guerra, debiéndose a ésta principalmente su progreso⁹⁷. Habría que esperar a la creación del Batallón de Telégrafos de Madrid por Alfonso XII⁹⁸ para asistir a un nuevo resurgimiento de la aerostación española, contando entre sus actividades la realización de observaciones meteorológicas y astronómicas⁹⁹.

Conclusiones

En los comienzos de la aerostación, sólo los globos de hidrógeno se mostraron aptos para realizar tareas de carácter científico, mientras que los de aire caliente tuvieron la tarea principal de ser lanzados antes que éstos para que los aeronautas pudieran hacerse una primera idea de la dirección y velocidad de las corrientes de aire; la ligereza de aquel gas posibilitaba la ascensión de los aerostatos a capas elevadas de la atmósfera, en tanto que su tardanza en condensarse facilitaba la prolongación del vuelo. Por otra parte, los elementos que incorporó J.

⁹⁶ En Francia, G. Monge propuso el uso militar de los globos y el Gobierno aprobó una comisión en la que se hallaban Bertholet, Fourcroy, Guyton de Morveau, Perrier, Faypouth, Marre, Lavoisier, Cutelle y el propio Monge; en 1794, el Comité de Salud Pública instituyó una compañía de aerosteros militares con sede en Meudon, bajo la dirección del físico y químico Conté, y ese mismo año Napoleón Bonaparte utilizó un globo cautivo de hidrógeno en la batalla de Fleurus, contra el ejército austriaco (véase TISSANDIER, G., *Histoire des ballons et des aéronautes célèbres, 1783-1800*, París, 1887, pp. 134-142. En España, la iniciativa del conde de Aranda (*Ensayo de un Globo Aërostatico*, Real Academia de Artillería de Segovia, 1792), permitió que se realizara una experiencia aerostática con fines militares en la que participó el químico francés L. Proust, .

⁹⁷ Véase GOMÁ ORDUÑA, J., *Historia de la Aeronáutica Española*, Madrid, Prensa Española, 1946; p. 43.

⁹⁸ Real Decreto de 15 de diciembre de 1884. Ver LÁZARO ÁVILA, C. y PÉREZ HERAS, A., *La aerostación militar en España*, Madrid, Ministerio de Defensa, 1995, p. 14.

⁹⁹ *Ibid.*, pp. 28-30.

A. C. Charles a su estructura, permitían controlar las dilataciones del gas voluntariamente, proporcionando mayor seguridad a los tripulantes y haciendo posible que éstos desviaran sin peligro su atención hacia la medición de los parámetros atmosféricos que experimentaban modificaciones con la altura. No es casualidad que el propio Charles llevara en su vuelo del 1 de diciembre de 1783 un termómetro y un barómetro, si bien más que proponerse la realización de observaciones sistemáticas y cuantitativas, se valiera de aquellos instrumentos para gobernar con seguridad la nave. Sin embargo, el alcance de su invento fue rápidamente comprendido por científicos como Priestley, quien auguró un futuro prometedor a los globos como artefactos idóneos para la investigación de las altas capas de la atmósfera; aunque algunos de los primeros viajeros en globo no se propusieran llevar a la práctica dicha idea, los aeronautas tomaron la costumbre de llevar a bordo instrumentos de medida, a los cuales pronto se encontró utilidad en labores científicas. Así, en diversos vuelos aerostáticos se pretendió medir el magnetismo terrestre, estudiar el comportamiento de los vientos, tomar datos sobre las modificaciones de la temperatura, presión y humedad de la atmósfera con la altura, etc. En algunos de ellos se llegaron a conclusiones erróneas, como ocurrió en el efectuado por Robertson y Sajarov al estudiar la supuesta pérdida de intensidad de la fuerza magnética; en otras, como las de Jeffries y Blanchard o las protagonizadas por los aerosteros de Dijon, se confirmaron algunas teorías ya existentes y se inició una práctica que pronto conduciría certeros resultados y a un perfeccionamiento de los métodos de investigación, como se demostró tras la experiencia de Biot y Gay-Lussac. Además, se extendió el ámbito de la exploración a franjas atmosféricas más extensas que las hasta entonces observadas. En gran número de ocasiones, los aeronautas portaban instrumentos que ya gozaban de suficiente aceptación en el mundo científico, llegando a hacer mediciones de un mismo parámetro con varias clases diferentes de ellos; en otras, como ocurrió en las experiencias de Dijon, fueron construidos expresamente para fines concretos. De todo ello se desprende la gran confianza que los aeronautas depositaron en un utillaje científico que habría de proporcionarles datos valiosísimos para sus indagaciones y que, con el transcurrir de los años, experimentaría mejoras o incluso ampliaría su nómina.

En España, salvo lo vuelos de Lunardi en busca de muestras de aire para su análisis químico y algunas mediciones de fenómenos atmosféricos, escasearon los vuelos de carácter científico, aunque siempre se tuvo consciencia de la importancia de llevar instrumentos a bordo y de la utilidad de los globos en la investigación científica; hubo en este sentido muchos más proyectos y sugerencias que expe-

riencias de hecho, pero siempre estuvieron basados en razones fundadas. Por otra parte, si bien el análisis del aire tomado por el aeronauta italiano arrojó resultados decepcionantes, no se le puede restar mérito ni a él ni a su benefactor, el duque de la Roca, pues emprendió un viaje con propósitos tan firmes como loables. Tras él, la aerostación científica sufrió un fuerte retroceso, agravado por las continuas guerras y la penuria económica; sólo con la creación de la Compañía de Aerostación del Batallón de Telégrafos de Madrid por Alfonso XII en 1884, volvió aquella a resurgir, elevando el nivel científico, técnico y militar de la aerostación española a una altura similar al del resto de las potencias europeas.