EL OCÉANO VERTICAL: LA CUESTIÓN DE LAS ALTITUDES EN JORGE JUAN Y ANTONIO DE ULLOA

Cayetano Mas Galvañ
Universidad de Alicante

Introducción

Mucho antes de que lo hicieran en su propio continente, los europeos habían alcanzado cotas cercanas o superiores a los 4.500 metros de altitud en el curso de sus exploraciones de los siglos XVI, XVII y XVIII[1]. Son testimonio de ello los relatos de los cronistas acerca del ascenso al Popocatepetl (5.426 m.s.n.m.) por parte de Diego de Ordás y algunos otros integrantes de la expedición de Cortés; las noticias de los tiempos de la conquista recogidos por el Padre Acosta, así como la narración de su propio tránsito en el año 1573 por las escaleras de Pariacaca (Perú, 4.575 m.s.n.m.); o muy especialmente, la extraordinaria odisea de los PP. Andrade y Marques, quienes en 1624 fueron los primeros europeos que entraron en el Tibet, al atravesar el Mana-La, un collado situado en el Himalaya a 5.609 m. En la mayor parte de estos textos se describen síndromes relacionados con la hipoxia y el clima propios de la gran altitud, pero como era de esperar, estas incursiones no estuvieron inspiradas esencialmente por la exploración de tales territorios, sino que sus protagonistas tan sólo transitaban necesariamente por ellos para alcanzar otros destinos o fines. De hecho, únicamente el P. Acosta –relacionando los síntomas con una conciencia clara de la altitud– adopta una actitud que pudiéramos considerar científica ante el análisis de sus experiencias; digna del mayor encomio, pero lastrada por la ausencia de mediciones, la subjetividad

1. El lector hallará una aproximación detallada a estas cuestiones, junto con la bibliografía correspondiente, en mi trabajo «Los primeros contactos de los europeos con las grandes altitudes», *Revista de Historia Moderna*, 29 (2011), pp.139-168.

y los prejuicios consustanciales al momento en que escribe y a su formación aristotélica.

De ahí la singular importancia que para el objeto de nuestro estudio reviste la expedición ecuatorial, de la que formaron parte D. Jorge Juan y D. Antonio de Ulloa, al tratarse de la primera de carácter propiamente científico que se desarrolló en un contexto de gran altitud. Evidentemente, los problemas a los que hubieron de enfrentarse fueron en primer término los de una medición lo más exacta posible de las altitudes de sus estaciones, con el fin de efectuar las correspondientes nivelaciones de la red de medición. Pero en diversas ocasiones los expedicionarios aludieron a otras cuestiones relacionadas con la altitud (hipoxia, clima, etc.), en unos textos que no siempre han sido objeto de la atención que merecen y sobre los que pretendemos situar el foco del presente trabajo[2].

El estado de los métodos de medición de las altitudes antes de la expedición al Ecuador

El siglo XVII había dejado establecidos los dos sistemas básicos para la medición de las altitudes que se emplearían en las centurias sucesivas. El primero de ellos es el trigonométrico, basado en principios conocidos desde la antigüedad, cuya aplicación a la geodesia fue ideada por Gemma Frisius en el siglo XVI y llevada por vez primera a la práctica –en la centuria siguiente– por Snellius; a fin de cuentas no pasa de constituir un caso particular de resolución de triángulos. El problema, en principio, residía en la exactitud de las mediciones, lo cual remitía a la disponibilidad –o por mejor decir, la indisponibilidad– de unos patrones de medida y de un instrumental adecuado. El segundo de los métodos era el barométrico, y había sido planteado durante el siglo XVII merced a los diversos estudios y experiencias sobre la presión atmosférica, su variación con la altitud y su medición por medio de barómetros (Torricelli, Pascal, Périer…). Al igual que en el primero, numerosos problemas de tipo instrumental se imponían en primer término a la hora de llevar a la práctica este método.

No obstante, la adecuada resolución del cálculo de las altitudes no se hallaba sólo limitada en sus aplicaciones prácticas; también una amplia gama de cuestiones teóricas permanecían pendientes de resolver. Tales problemas eran especialmente notorios por lo que respecta a la utilización del barómetro, puesto que aún no se disponía de una fórmula que relacionase correctamente

2. Al final del texto se hallará la relación de fuentes impresas utilizadas en la elaboración de este trabajo.

altitudes y presiones. Pero las dificultades se extendían igualmente a los patrones y el instrumental (afectado por contracciones y dilataciones cuyas leyes no eran bien conocidas), y se dejaban sentir también en las observaciones (pues tampoco habían sido adecuadamente formulados los efectos de la refracción atmosférica). A todo ello se unía la polémica geodésica fundamental sobre la verdadera figura de la Tierra que enfrentaba la física newtoniana con la cartesiana, y acerca de la cual las evidencias empíricas (experiencias con péndulos frente a las mediciones trigonométricas de los Cassini) no parecían mostrarse concluyentes. A zanjar definitivamente esta cuestión se dedicaron las expediciones enviadas por la Academia de Ciencias francesa al Ecuador y Laponia en los años 30 del siglo XVIII.

La conciencia científica de la altitud

Medir la longitud del grado de meridiano, mediante el establecimiento de una red de triangulación geodésica y de las posteriores observaciones astronómicas dedicadas a la comprobación de resultados, no resultó –como es bien sabido– tarea fácil. Pero, por lo que aquí interesa destacar, una cuestión salta al primer plano y es que, por dudosa que a la postre resultase la elección de la zona, la medición de la longitud del arco de meridiano correspondiente a tres grados en latitud ecuatorial se produjo en un medio natural esencialmente montañoso; es decir, el delimitado por las dos grandes cordilleras (Occidental y Oriental) dispuestas alrededor del callejón interandino, con un conjunto de volcanes y nevados situados por encima de los 4.000 metros de altitud, y que en el caso del Chimborazo excede de los 6000.

En dicho entorno, no es de extrañar que los trabajos de campo (establecimiento de la base y triangulaciones geodésicas) se prolongaran nada menos que tres años, desde septiembre de 1736 hasta agosto de 1739. Hubo que reconocer el terreno, ascender importantes montañas para establecer las señales, a veces cambiarlas de ubicación tras comprobar que resultaban de difícil observación, reedificarlas llegado el caso, pasar muchos días en las estaciones en espera de que las nubes permitiesen tener visuales claras, soportar toda clase de inclemencias atmosféricas o naturales (bajo la sola protección de una tienda de campaña), incluyendo la amenaza de aludes de nieve y lodo… o incluso sufrir accidentes o verse perdidos y forzados a efectuar vivaques en condiciones durísimas.

Empezando por La Condamine, los expedicionarios efectuaron elocuentes descripciones del país, y sobre todo fueron conscientes de la enormidad de la altitud a la que están trabajando. Era éste un aspecto del que no se tenía

clara conciencia por parte de los propios habitantes de la zona[3], y los textos que pusieran en valor esta cuestión no abundaban. Por eso no es de extrañar que, buscando descripciones anteriores, La Condamine acuda a un pasaje del P. Acosta, quien en su *Historia natural y moral de las Indias*, decía que por su prodigiosa elevación, las montañas de América eran en comparación con las de Europa, lo que campanarios comparados con casas ordinarias[4].

Pero La Condamine y sus compañeros, a diferencia de Acosta, estaban en disposición de medir y cuantificar con precisión; por primera vez en la historia, su expedición disponía de los medios para hacerlo. La altura media del suelo del valle donde están situadas las ciudades de Quito, Cuenca, Riobamba, Latacunga e Ibarra –nos dice el francés– es de 1.500 a 1.600 toesas[5] sobre el nivel del mar, por lo que excedía de la de las más altas montañas de los Pirineos, como el Canigó y el Pic de Midi, y su suelo servía de base a montañas de más del doble de elevación[6]. Así, los volcanes Cayambe y Antisana se alzarían a más de 3.000 toesas sobre el nivel del mar[7], y el Chimborazo superaría las 3.220[8], por lo que sobrepasarían en más de un tercio el Pico de Tenerife, «la plus haute montagne de l'ancien hémisphère»[9]; la sola parte del Chimborazo que siempre se hallaba cubierta de nieve, tenía 800 toesas de desnivel («altura perpendicular»), lo que dicho sea de paso

3. Como veremos, fueron los expedicionarios francoespañoles los primeros en hacerles saber la altitud real en la que vivían.
4. Acosta, José: *Historia natural y moral de las Indias*, Sevilla, Juan de León, 1590. La frase original del P. Acosta es la siguiente: «a mi parecer los puertos nevados de España y los Pirineos y los Alpes de Italia son como casas ordinarias respecto de torres altas» (libro III, cap. 9, p. 144).
5. El valor aceptado para la toesa es el de 1,949 metros (*Apud* Lafuente, Antonio y Mazuecos, Antonio: *Los caballeros del punto fijo. Ciencia, política y aventura en la expedición hispanofrancesa al virreinato del Perú en el siglo xviii*, Barcelona, 1987, p. 236).
6. La Condamine, *Journal du voyage…*, p. 48. El texto evidencia el escaso conocimiento que por entonces se tenía de cordilleras tan próximas como los Pirineos, cuyo eje central aún estaba por descubrir para la ciencia (*vid.* Mas Galvañ, *op. cit.*, p. 146).
7. La Condamine, *op. cit.*, p. 48. El volcán Cayambe viene nombrado como *Cayambour*. Las altitudes aceptadas hoy son 5.790 y 5.753 m., respectivamente. En este tipo de conversiones no sólo hay que tener en cuenta la equivalencia métrica de la toesa, sino también los errores en las mediciones efectuadas por la expedición.
8. *Ibid.*, p. 48. Es decir, 6.275,8 m.; la altitud real del Chimborazo es de 6.267 m., lo que da un cálculo –obtenido por métodos trigonométricos en este caso–, muy preciso.
9. *Ibid.*, p. 48. Esta indicación, así como otras que se verán más adelante, confirma los escasos conocimientos de que se disponía sobre las verdaderas elevaciones de las montañas del ámbito europeo: el Teide, si bien ya no podía conservar su corona de montaña más alta del mundo, aún se conceptuaba como la más alta de las viejas conocidas (*vid.* Mas Galvañ, *op. cit.*, pp. 143-147).

colocaría el límite de las nieves perpetuas en torno a los 4.700 metros[10]. Este tipo de descripciones se repiten en diversas versiones en el mismo texto de La Condamine. Así, cuando en agosto de 1737 ascendieron por segunda vez a la cima oriental del Pichincha para iniciar los trabajos de triangulación, apuntó que si la pendiente de un terreno estuviese distribuida en marcas de medio pie cada una, habría 29.160 marcas que ascender desde el mar hasta la cima del Pichincha[11]; y el barómetro marcaba 16 pulgadas, es decir, 12 pulgadas menos que al nivel del mar, de suerte que «l'air que nous respirions, étoit dilaté près de moitié plus que n'est celui de France, quand le baromètre y monte à 29 pouces»[12]. En febrero de 1738 los expedicionarios se aproximaron al Cotopaxi, donde las dificultades orográficas y naturales les hicieron desistir de la colocación de una señal; de hecho, habían llegado hasta el límite de las nieves perpetuas y aun se habían adentrado en ellas[13]. El 20 de julio de ese mismo año, La Condamine y Bouguer se dirigieron a hacer el experimento del barómetro en la misma cumbre del Corazón, cuya punta estaba siempre cubierta de nieve, superando claramente el límite de las nieves perpetuas. Dicha cima se elevaba 250 toesas por encima de donde habían colocado la señal correspondiente a ese monte, sobrepasando en 40 toesas al Pichincha, de modo que el mercurio había descendido otro par de líneas, hasta las 15 pulgadas y 10 líneas. La Condamine afirmaba categóricamente que era la más grande altura conocida a la que se había ascendido hasta ese momento[14], orgulloso de la precisión de sus datos:

10. La Condamine, *op. cit.*. p. 48. Con bastante aproximación es la altura a la que también la coloca en el Cerro Corazón. Resulta de interés comparar con las disquisiciones de Humboldt y otros viajeros sobre este asunto (*vid.* Francou, Bernard: «Andes del Ecuador: los glaciares en la época de los viajeros (siglos xviii a xx)», en Deler, Jean-Paul y Mesclier, Évelyne, *Los Andes y el reto del espacio mundo*, Institut français des études andines, pp. 137-152, edición electrónica disponible en http://books.openedition.org/ifea/503).
11. La Condamine, *op. cit.*. p. 33-34. La altitud absoluta del Pichincha es de 4.784 metros.
12. *Ibid.*, p. 35.
13. *Ibid.*, p. 53-54. En esta incursión, D. Jorge Juan cayó con su mula por un barranco de 25 pies de altura, afortunadamente sin consecuencias.
14. Anotemos de paso que, por cuanto podemos saber en este momento, la mayor altitud a la que realmente se había ascendido entonces eran los 6.739 metros en el volcán Llullaillaco (Argentina), donde han aparecido varias momias incaicas, aunque su descubrimiento pertenece a finales del siglo xx. Por lo que respecta a europeos, tanto Diego de Ordás y sus compañeros en el Popocatepetl, como los PP. Andrade y Marques en el Tibet, habían superado ampliamente esa altura, pero sin posibilidad de medirla. Así pues, para dar su pleno sentido a la frase de La Condamine, deberíamos decir que se trataba de la máxima altura medida hasta entonces, y no de un record absoluto (para Ordás y Andrade, *vid.* Mas Galvañ, *op. cit.*, pp. 147-160).

> Personne n'a vû le baromètre si bas dans l'air libre: & vraissemblablement personne n'a monté à une plus grande hauteur: nous étions 2470 toises au dessus du niveau de la mer: & nous pouvons répondre, à 4 ou 5 toises prés, de la justesse de cette détermination[15].

La cuestión de la medición de las altitudes en los textos de Juan y Ulloa

Como no podía ser de otro modo, la cuestión de la altitud se encuentra igualmente presente en los textos relativos a la expedición legados por los dos representantes españoles. De hecho, y como era de esperar, en los escritos de ambos resulta habitual ver reflejados diversos aspectos que también trataron los científicos franceses en sus informes: al fin y al cabo, los dos jóvenes marinos se dividieron en dos *compañías* para efectuar los trabajos de campo, acompañando Jorge Juan a Godin, y Ulloa a La Condamine y Bouguer.

Por supuesto, se procuró determinar las altitudes de las distintas estaciones utilizadas para la triangulación tanto por el método geométrico como por el barométrico. Es indudable la inquietud de los expedicionarios por obtener las mediciones más precisas. Sin embargo, como refiere A. Lafuente, este afán les condujo –merced a su extraordinaria capacidad para problematizar el objeto de su viaje– a:

> efectuar programas sistemáticos de investigación de fenómenos naturales sobre los que no existía ninguna teoría mínimamente consensuada, ni la suficiente experiencia acumulada […]: la refracción atmosférica y astronómica, la variación local de la gravedad y, por tanto, la verticalidad de la plomada en presencia de grandes masas montañosas, la determinación barométrica de las alturas, la dilatación de los materiales, la construcción de instrumentos y el grabado del limbo, etc.[16].

De este modo, terminó resultando muy difícil decidir si los errores y discrepancias que se iban acumulando se debían a deficiencias del observador, a la mala construcción o descomposición de los instrumentos, o a los efectos de fenómenos físicos poco conocidos. En definitiva, se enfrentaban a problemas que desbordaban el objetivo de su misión, sin los suficientes instrumentos conceptuales, ni el utillaje científico necesario[17].

---

15. La Condamine, *op. cit*., p. 58.
16. Lafuente, Antonio: «La medida de la figura de la tierra como experimento crucial», en *Las medidas y las matemáticas*, Madrid, Senado/CEAMM, 2000, pp. 30-38 (versión en internet en http://museovirtual.csic.es/salas/medida/medidas_y_matematicas/articulos/Capitulo4.pdf, p. 3.).
17. *Ibid.*, p. 4.

Las operaciones de medición han sido detalladamente descritas por diversos autores[18], por lo que no será necesario entrar aquí en su detalle. Por lo que respecta a la triangulación, baste recordar la infinidad de dificultades y aventuras que tuvieron que superar como consecuencia de la orografía y el clima, por no añadir la imprecisión de los instrumentos y el propio empirismo que terminó determinando los trabajos de campo. Pero por lo que respecta a lo que ahora nos interesa directamente (la determinación de las alturas), hemos de recordar que los expedicionarios terminaron prefiriendo el empleo del barómetro, en la que iba a ser primera ocasión en la historia en que dicho instrumento se utilizaba sistemáticamente en un contexto de gran altitud. Este tipo de decisiones eran motivo de fuertes discrepancias entre ellos, en especial cuando se planteó la necesidad de convertir las alturas relativas obtenidas sobre las bases del corredor andino, en alturas absolutas, tomadas sobre el nivel del mar[19]. Ciertamente, el barómetro era todavía un instrumento que distaba de alcanzar la perfección desde el punto de vista de su diseño y construcción, pero esta no era la única cuestión que afectaba a su utilización para la medición de las alturas: estaban también –como se ha dicho– las cuestiones teóricas. Pronto se vieron los expedicionarios enfrentados con el hecho de que la ley de Boyle-Mariotte resultaba insuficiente para dar razón de las observaciones que iban tomando sobre el terreno. De ahí que terminasen buscando una expresión algebraica estable por procedimientos empíricos[20]. Los resultados, en palabras del propio Lafuente, fueron decepcionantes, pues las oscilaciones eran tan grandes que se hace preciso poner en entredicho los propios fundamentos del procedimiento. Pese a todo, como afirman los mismos investigadores[21], el único método de determinación de las alturas que resultaba realmente practicable hacia 1740 era el barométrico.

18. Remitimos al lector al referido trabajo de Lafuente y Mazuecos (*Los caballeros del punto fijo…*), así como al de Lafuente, Antonio y Delgado, Antonio J.: *La geometrización de la Tierra (1735-1744)*, Madrid, 1984.
19. Como indican los propios expedicionarios y recogen Lafuente y Mazuecos, la nivelación geodésica exigía conectar algún punto de la triangulación con la costa del Pacífico: un proyecto de muy difícil realización que exigía además mucho tiempo y recursos. Bouguer planteó efectuar la observación desde la Isla del Inca –en la cuenca del Esmeraldas, cuya altura era conocida– de alguna de las cumbres empleadas en la triangulación principal. El resultado no respondió a las expectativas, como pensaba La Condamine, quien no concedía demasiada importancia a las consecuencias que este problema podía tener en la medición del meridiano, puesto que según sus propios cálculos, 100 toesas de error en la altitud de las montañas no habrían repercutido en más de 2 toesas sobre la longitud del grado (Lafuente, A. y Mazuecos, A., *op. cit.*, p. 167).
20. Lafuente, «La medida…», p. 5, compara los procedimientos apuntados por Godin, Bouguer y Juan.
21. Lafuente, A. y Mazuecos, A., *op. cit*, p. 167.

A la aclaración de todas estas cuestiones dedicó D. Jorge Juan toda una parte de las *Observaciones*[22], donde se discute el uso de este instrumento. La comparación con los resultados obtenidos mediante el método geométrico resultaba obligada, y de hecho D. Jorge la efectúa especialmente en los dos últimos capítulos de esta parte de su obra. Del resultado de dicha comparación, como repite en distintas ocasiones –y en línea con la posición expresada por Godin, a quien él acompañó en los trabajos de campo–, resultaba una discrepancia «despreciable» en relación con el propósito de la expedición[23].

Así pues, D. Jorge Juan compartía la opinión mayoritaria, pues:

> la disposición de los Montes, y Bosques del Reyno de Quito es tal, que se nos hacía muy difícil, y costoso el ligar los triángulos de la Meridiana con el Mar, para por ello concluir las alturas de los Montes sobre su superficie, y reducir la medida de la Meridiana a la altura, o nivel del Mar[24].

De modo que se impuso el sentido práctico, aun reconociendo sus posibles inconvenientes:

> y assí resolvimos deducir dicha altura por el Barómetro; pues aunque el méthodo no sea muy exacto, como el yerro que se puede cometer, es muy corto, fue preciso valernos de él, no presentando la incomodidad del terreno otro más adequado[25].

Insistimos en que el uso de los barómetros como instrumentos de medición de altitudes aún se encontraba en sus inicios. A la postre (y así lo evidencia

22. Juan, Jorge y Ulloa, Antonio: *Observaciones, libro V. De las experiencias del barómetro simple, de las quales se deduce la ley de la dilatación del Ayre, y el método de hallar la altura de los Montes*, pp. 102-131. Este libro V consta de cuatro capítulos. El primero está dedicado a los experimentos realizados durante el viaje; el segundo al análisis de la ley de dilatación del aire (o ley de Boyle-Mariotte); y el tercero y cuarto a sendos métodos de hallar las alturas mediante el barómetro, como indicamos en el cuerpo del texto.
23. *Ibid.*, p. 122; en otros pasajes, afirma que con las mediciones barométricas de las altitudes se alcanzaba «quanta exactitud se puede desear». Concretamente, señalaba una discrepancia de sólo 4 toesas entre las altitudes obtenidas por el barómetro o la geometría en la medición de la diferencia de altitud entre la señal de Pambamarca y la base de Caraburu; o de 21 toesas entre dicha base y la señal del Pichincha, diferencia que en este caso achacaba a un posible error de lectura, en cualquier caso más allá de la precisión del instrumento (*Ibid.*, p. 121).
24. *Ibid.*, pp. 105-106. También en p. 204-205: «Para esta operación tuvimos siempre presente, en toda la medida de triángulos, el ligar las Señales con el Mar, por medio de otros triángulos; mas no se pudo esto conseguir por lo distante que estaba aquél, por lo montuoso, y quebrado del País, y por las muchas Nubes, que impedían continuamente el verle. Sin embargo de no haver conseguido este designio, el Barómetro discurro da la determinación más justa de lo que se necesita para semejante operación, puesto que 100 toesas de diferencia en la altura de las Señales no causa yerro sensible en el cálculo».
25. *Ibid.*, p. 106.

el hecho de que D. Jorge dedicase uno de los capítulos de esta obra específicamente a las aplicaciones barométricas de la ley de Boyle-Mariotte), la ciencia europea aún distaba mucho de haber hallado una fórmula barométrica correcta. Tanto es así, que el uso del barómetro en esta expedición se debió no sólo a la referida necesidad de efectuar la nivelación a nivel del mar, sino que simultáneamente se estaba procurando dar respuesta desde el punto de vista experimental a algunas cuestiones teóricas que en ese momento se encontraban sobre la mesa.

Éstas «curiosidades, que agitaban a muchos de los Philósophos»[26], eran esencialmente dos. En primer lugar, comprobar si la presión atmosférica era menor en las latitudes ecuatoriales que en las medias; dicho de otra forma, si la presión atmosférica varía con la latitud:

> era la primera, si el Mercurio se mantenía en la Zona Tórrida a el nivel del Mar más baxo, que en los Países del Norte, como lo creían muchos Phísicos[27].

En segundo lugar, verificar si la amplitud de las variaciones de presión que se producían en un mismo lugar, era menor que la observada en las estaciones europeas:

> la segunda, si las diferencias de alturas de dicho Mercurio, que en un mismo parage se experimentan […] eran allí menores, que en Europa[28].

Ambas cuestiones cobraban importancia por cuanto, de la primera, se desprendería que la atmósfera era «menos grave» en las latitudes ecuatoriales; y de la segunda, que las diferencias de presión eran menos sensibles en dichas latitudes que en las templadas[29].

Las respuestas que D. Jorge ofrece a estos interrogantes revelan que, si bien el error de las mediciones barométricas era tolerable para la determinación del valor del grado de meridiano, aún se estaba lejos de comprender adecuadamente la estructura y la dinámica de la atmósfera. Así, en respuesta a la primera cuestión, indicaba que la mayor parte de las experiencias manifestaban que el nivel del mercurio era de 27 pulgadas 11,5 líneas. Como en Europa la mayoría de las observaciones ofrecían como resultado 28 pulgadas, D. Jorge afirmaba que:

> podemos creer, que se mantiene a la orilla del Mar tanto en Europa como en la América, a la misma altura; y aunque algunos lo dudaron por algunas

26. *Ibid.*, p. 104.
27. *Ibid.*, p. 104.
28. *Ibid.*, p. 104.
29. *Ibid.*, pp. 104-105.

> particulares experiencias, es muy dable, que en éstas no se hallassen sus barómetros igualmente divididos, que el nuestro […] De esto se concluye, que la Atmósphera pesa igualmente en Europa, y América[30].

Aunque esta conclusión se basaba en realidad en un conjunto de observaciones relativamente escaso, se hallaba extendida entre sus compañeros de expedición; de modo que no sorprende que D. Jorge también la asumiera. El tiempo (y un conjunto mucho más amplio de observaciones) pondrían en evidencia, como hoy es bien sabido, que la ecuatorial es una zona de bajas presiones debidas en buena medida al factor térmico; pero resulta interesante anotar que –pese a tratarse de un aspecto derivado de la física newtoniana– en ningún momento llega a plantearse la posible incidencia que la menor gravedad y la mayor velocidad de rotación existentes en la zona ecuatorial podían tener sobre la presión atmosférica. En todo caso, y si bien hoy sabemos que cualquier reducción de las lecturas barométricas exige introducir la corrección por latitud debida a la gravedad, es evidente que la detección de tal fenómeno estaba lejos de las posibilidades observacionales de aquella expedición.

Esta primera conclusión de D. Jorge, por otra parte, es difícilmente compatible con otro conjunto de afirmaciones relacionadas con la respuesta a la segunda cuestión y con la estructura vertical de la atmósfera. El marino alicantino, precisamente merced a las grandes altitudes en que hubo de efectuar sus experiencias, dedujo dos conclusiones en respuesta a dicha cuestión. Primero, que efectivamente las diferencias de presión en un mismo punto (aunque no llega a plantear la existencia de una variación diaria) son menores en las latitudes ecuatoriales que en Europa; y segundo, que las variaciones del barómetro se hacen también menores a medida que se asciende[31]. Este hecho estaba relacionado en su planteamiento con la cuestión hipotética de la altura absoluta de la atmósfera; o por mejor decir, de la altitud a la cual la presión alcanzaría un valor igual a cero. Citando las experiencias realizadas en la costa del sur de Francia por de la Hire en 1682, y por Cassini en 1701, y comparándolas con las observaciones efectuadas por la expedición, concluía –esta vez acertadamente– que:

> se puede creer, que la altura de la Atmósphera en las cercanías del Equador es mayor, que en Europa[32].

30. *Ibid.*, pp. 110-111.
31. *Ibid.*, pp. 109-110.
32. *Ibid.*, p. 123.

De hecho, Jorge Juan corrigió los datos de la Hire, donde observaba algún error, y llegó a establecer que la mitad de la presión atmosférica se alcanzaba en Europa a 2.446 toesas, mientras que en el Ecuador esta cota estaba sensiblemente más alta, a 2.935 toesas[33]. Tampoco D. Jorge relacionaba este mayor desarrollo vertical de la atmósfera con ningún tipo de fenómeno gravitatorio. En definitiva, tales conclusiones no hacían sino avalar su convicción inicial respecto de la utilidad del barómetro como instrumento para medir las altitudes, puesto que siendo menores las variaciones de presión en el Ecuador, las alturas de los montes se obtendrían allí con mayor exactitud que en latitudes más elevadas[34].

Pero esto no nos permite obviar que, pese a su optimismo, y por las razones inicialmente apuntadas, la expedición no consiguió hallar un método plenamente satisfactorio para la medición de las altitudes. Como también subrayan Lafuente y Mazuecos, tras numerosas series de observaciones ninguno de los métodos de análisis propuestos resultaba convincente: «de nuevo nuestros académicos debían optar por valores para la altura surgidos de la simple media aritmética entre todas las cifras disponibles. Su empeño en aislar un fenómeno físico y en aquilatar una técnica precisa para el uso del barómetro, había fracasado»[35].

El propio Jorge Juan, tras diversas consideraciones sobre los métodos empleados tanto por sus predecesores como por sus propios compañeros (y partiendo siempre de la ley de Boyle-Mariotte) terminó echando su cuarto a espadas, y en el último capítulo que dedica a estas cuestiones en el libro V de las *Observaciones*, proponía su propio método:

> Según esto [*escribía*] no podemos hacer otra cosa mejor, que tomar una progressión media entre todas las que se pueden deducir, tal, que determinando las alturas de los Montes por ella, y por geometría, las diferencias que se hallaren sean lo más pequeñas que sea posible[36].

Y poco más adelante añadía, casi resignadamente:

> «se ve la imposibilidad, que hay en asignar una progresión que convenga a todas las alturas, porque si se aumenta la progresión dada, será conveniente para unas alturas, y defectuosa para otras; y al contrario: de suerte, que siempre tendremos algunas, que no convendrán con la regla exactamente»[37].

33. *Ibid.*, p. 125.
34. *Ibid.*, p. 110.
35. Lafuente, A. y Mazuecos, A., *op. cit.*, p. 169.
36. Juan, J. y Ulloa, A.: *Observaciones…,* p. 128.
37. *Ibid.*, p. 130.

De ahí, sin ir más lejos, las diferentes altitudes que los expedicionarios asignaron a una misma cota. Jorge Juan, por ejemplo, daba para el volcán Pichincha distintas elevaciones, aunque la discrepancia obtenida entre uno u otro método en ningún caso superaba las 23 toesas, en efecto prácticamente insignificantes cuando se trataba, como era el caso, de medir un sector de más de tres grados de meridiano.

Por lo demás, también en Jorge Juan se aprecia esta conciencia –antes mencionada– respecto de la verdadera dimensión de aquellos cerros quiteños en los que andaban jugándose la salud y hasta la vida. La altura máxima que asignaba al Pichincha (2.471,5 toesas) resulta, amén de muy precisa, equiparable a la del Mont-Blanc. Y según los datos del momento, sería:

> mayor que qualquiera de las que conocemos en Europa: porque aunque Strabón, Kircherio, Riccioli, y otros varios Authores nos dan alturas de Montes mucho mayores, parece que no les podemos dar entero crédito; lo primero por no haver hecho sus cómputos con la justificación, que se debía; y lo segundo, porque últimamente se han medido varios Montes de los más elevados de Europa geométricamente sobre la superficie del mar, y no se han encontrado de tal elevación[38].

A continuación, mencionaba explícitamente algunos de estos montes, aunque salta a la vista que en este aspecto la información entonces disponible era incompleta y deficiente[39]. Y no dejaba Juan de hacerse eco de la medición del Teide efectuada por Feuillé, con unas a todas luces excesivas 2.193 toesas que si bien colocarían al volcán canario claramente por encima de los 4.000 metros, en todo caso sirvieron a nuestro marino para comentar que su altitud seguía siendo mayor que las europeas, aunque menor que la del Pichincha. Y éste no era el cerro más elevado de la zona:

> La eminencia de este cerro debe parecer según esto excesiva a los Europeos; y mucho más la del *Chimborazo*, Cerro nevado continuamente, y próximo a la villa de Riobamba, que según mi cómputo, tiene de altura sobre la superficie del mar 3.380 toesas, que hacen más de legua marítima[40].

38. *Ibid.*, p. 131.
39. Aparte la clásica y comprensible mención al Canigó como una de las montañas más altas de Europa, medida por Cassini en 1.440 toesas, sitúa –según una información de las *Philosophical Transactions*– al que denomina como monte Gemmi (en el cantón de Berna) como el más alto de Europa, con 1.685 toesas (*Observaciones…*, p. 131). D. Jorge utilizaba como fuente el artículo de J. G. Scheuchzer, «Remarks on the Height of Mountains in General, and Those of Swisserland in Particular, with an Account of the Rise of Some of the Most Considerable Rivers of Europe», *Philosophical Transactions*, 35 (1727-1728), pp. 577-595.
40. Juan, J. y Ulloa, A.: *Observaciones…,* p. 131.

Es decir, 6.588 metros frente a los 6.310 reales. Sin embargo, en este caso se trataba de estimaciones necesariamente basadas en el método geométrico, puesto que ninguno de los expedicionarios pudo alcanzar su cima.

Las condiciones propias de la gran altitud

Todos los expedicionarios aportaron también interesantes relatos sobre las condiciones y fenómenos propios de la alta montaña y sus efectos sobre los organismos biológicos y –por supuesto– sobre ellos mismos. En esta última parte del presente trabajo, vamos a centrarnos en las menciones que efectúan en torno a dos de los elementos consustanciales a los escenarios de gran altitud: la hipoxia y el frío.

En efecto, el interés de nuestros expedicionarios no se limitó a las observaciones puramente instrumentales, sino también a los efectos que esa altitud tenía sobre los seres vivos. Lo que intentaron, también en esto, fue aproximarse científicamente a la cuestión. En principio, los experimentos realizados con máquinas neumáticas –desde su invención por Boyle mediado el siglo anterior– apuntaban que el límite de la supervivencia de los vivientes estaba en la altura a la que se alcanzaba la mitad de la presión atmosférica. Sobre este asunto, escribía D. Jorge Juan:

> Por igual méthodo se puede hallar la altura en la Atmósphera, donde los vivientes murieran, si fueran elevados a ella; porque en la Máchina Pneumática se experimenta, que los animales encerrados en ella, mueren evacuando la mitad del Ayre, que es lo propio que dilatarle, o darle dupla extensión, de la que tiene en la superficie terráquea:con que hallar la altura, donde los vivientes murireran, es lo mismo, que hallar aquella, donde el Ayre está en dupla dilatación, de la que tiene en la superficie terráquea; o el parage, donde el Mercurio en el Barómetro se mantendrá a 14 pulgadas, que es la mitad de la elevación, a la qual queda en la orilla del Mar[41].

Sirviéndose de la experiencia de Cassini, esto ocurriría –en la región donde éste hizo su experimento– a 2.446 toesas; pero, de acuerdo con la idea de que la atmósfera era de mayor altura en la zona ecuatorial que en latitudes templadas, la mitad de la presión se alcanzaba, en la vertical de las bases de Caraburu y Oyambaro, a 2.935 toesas sobre el nivel del mar. Por sí sola, semejante altura ya le parecía enorme a D. Jorge, pero para su sorpresa, los buitres[42] sobrevolaban sus más altas estaciones, en una altura cercana a dicho límite, sin que parecieran sufrir por ello:

41. Juan, J. y Ulloa, A.: *Observaciones…*, p. 124.
42. Antonio de Ulloa, en sus *Noticias americanas…*, p. 130, precisaba que se trataba de cóndores.

> Y assí parece increíble, que viviente alguno haya estado elevado a mayor altura: sin embargo veíamos de ordinario desde las cumbres de los Páramos, donde assistíamos, baxo de Tiendas de Campaña, para formar la serie de triángulos de la Meridiana, los Buytres más altos que nosotros, y quizás de 100 a 200 toesas; por lo qual no irían muy lexos de habitar la altura donde el Mercurio se mantendría a 14 pulgadas, y el Ayre obtendría dupla dilatación[43].

Habiendo asumido que los resultados de la máquina pneumática eran ciertos, Juan concluía reconociendo que debía actuar alguna razón cuyo conocimiento se le escapaba:

> y assí parece, que debe haver otra causa en el Ayre libre, que impida a la naturaleza obrar, como en la Máquina Pneumática[44].

Por supuesto, esa causa no estaba en el «aire libre», y no era otra que la adaptación natural de dicha especie a la altitud, de la cual D. Jorge no tenía porqué saber nada. La cuestión se volvía más problemática cuando se trataba de los posibles efectos de la altitud sobre los humanos. Hoy conocemos bien las distintas causas, manifestaciones y consecuencias del síndrome hipóxico, pero en aquella época se ignoraba prácticamente todo sobre el particular. Lo que describen los relatos no está nunca suficientemente claro, hasta el punto de que los fisiólogos siguen polemizando acerca de la adecuada interpretación de estos textos; pero en todo caso, sus autores tendían a relacionar –como ya hiciera el P. Acosta– los síntomas descritos con la *rarefacción* del aire y/o el frío, apuntando –acertadamente– que la sensibilidad y la predisposición a sufrirlo era mayor o menor según el individuo. Por lo demás, a algunos no se les escapó observar que con el tiempo los efectos de la altura tendían a desaparecer, si bien esto se contemplaba como fruto de una disminución en el umbral de sensibilidad a las condiciones (acostumbrarse), y no como resultado de unos mecanismos fisiológicos de aclimatación de los que nada se sabía por entonces.

Quizá los textos más significativos sobre estos aspectos corresponden a Bouguer, quien ya al referirse al paso de la Cordillera antes de entrar en el valle de Quito anotaba que las mulas habían experimentado una gran lasitud, tal que necesitaban dejarlas descansar cada siete u ocho pasos para

43. Juan, J. y Ulloa, A.: *Observaciones…*, 125. Según Pierre Bouguer (*La figure de la Terre*, París, 1749, p. XL) la señal más elevada que sirvió a la triangulación fue la de Sinazahuan (Sinasaguan, en las grafías empleadas por Jorge Juan), a 2.334 toesas sobre el nivel del mar.

44. Juan, J. y Ulloa, A.: *Observaciones…*, p. 125.

que recuperasen el aliento[45]. El científico francés conocía bien los relatos de la conquista, lo que le permite evocar la muerte por congelación de varias decenas de españoles integrantes de la expedición de Pedro de Alvarado en 1534, cuyo recorrido estaba siguiendo él mismo[46]. Anotemos de paso, que si bien los especialistas en análisis textual tienden a considerar aquellos relatos con suma precaución en cuanto fuente de datos, Bouguer no los puso en duda en ningún momento, puesto que contienen indudables elementos de verosimilitud, propios sólo de quienes han vivido tales situaciones[47]. Una vez en Quito, fueron los expedicionarios quienes hicieron saber –por vez primera– a los naturales de la ciudad que eran las gentes que vivían a mayor elevación en tierras conocidas, a 1.400 o 1.500 toesas sobre el nivel del mar, y que respiraban un aire más de un tercio más raro que el resto de la Humanidad[48]. De paso, Bouguer dejaba constancia de la relación entre altitud y latitud, pues anotó que las montañas que se encuentran en las zonas templadas y frías eran inhabitables pese a contar con menor altura que las de Quito[49]. Al principio de su estancia en la ciudad, todos se hallaron considerablemente incómodos debido a la *sutileza* del aire, especialmente aquellos de pecho más delicado, puesto que experimentaban pequeñas hemorragias. Esto lo achacaba Bouguer –añadiendo que no albergaba la menor duda– a la menor presión atmosférica, que según él no ayudaba a los vasos a retener la sangre. Sin embargo, el científico francés no precisaba exactamente de qué tipo de hemorragias se trataba, por lo que resulta difícil concretar el problema. La referencia al pecho podría, en todo caso, indicar la presencia de esputos sanguinolentos, propios de un edema pulmonar de altitud, pero si así fuese se habría tratado de una patología muy grave que difícilmente habría mejorado sin descender a menor altitud, cosa que sin duda no hicieron[50]. El caso es que

45. Bouguer, *op. cit.*, p. XVIII.
46. *Ibid.*, p. XXX.
47. Explícitamente, Bouguer cita a Cieza de León, Garcilaso, Herrera «& tous les autres Historiens» (*op. cit.*, p. LXVII). *Cf.* Alejandra VEGA, «Experiencias de cordillera, ecos de frío: relatos cruzados entre Chile y Quito en el siglo xvi», *Revista chilena de literatura*, 80 (nov. 2011), pp. 223-242.
48. Bouguer, *op. cit.*, p. XXXVI. Como antes hemos indicado respecto de las altitudes máximas alcanzadas por el hombre, en este caso los franceses tampoco tuvieron en cuenta los relatos sobre el Tibet, ni conocían la altitud de la ciudad de Tsaparang, destino de los PP. Andrade y Marques, situada entre los 3.600 y 3.700 m.
49. *Ibid.*, p. XXXVI.
50. Poco más adelante, describe las tres semanas que pasaron en la cima del Pichincha, donde algunos experimentaron afecciones escorbúticas, e incluso los indios sufrieron náuseas y vómitos violentos con expulsión de sangre: en este caso, lo atribuye todo al frío y no a la menor presión atmosférica (*Ibid.*, p. XXXVIII). Sin embargo, La Condamine –quien creía que Bouguer se refería, hablando de afecciones escorbúticas, a que las encías sangraban

cuando tuvieron que ascender a mayores alturas, varios de los expedicionarios se vieron de nuevo afectados por desfallecimientos y vómitos, síntomas inequívocos del mal de altura. Sin embargo, el hecho de que personalmente él apenas sintiera diferencia, así como el completo desconocimiento de los efectos fisiológicos puestos en juego por la hipoxia de altitud, le llevaron a aportar toda una serie de especulaciones causales, más o menos erróneas. Así, los desfallecimientos y vómitos habrían sido –en su parecer– más un efecto del cansancio que de la dificultad de respirar; el no haber notado él mismo apenas cambios con la mayor altitud lo achacaba bien a haberse hecho ya con el país, bien a que el frío impedía que el aire se dilatase tanto como habría correspondido a la altitud; y lo que le parecía que probaba de modo «incontestable» que no había una relación entre la presión atmosférica y los síntomas era que éstos no se experimentaban cuando se permanecía inactivo (v.gr., cuando se iba a caballo, o cuando se alcanzaba la cima), sino cuando se intentaba efectuar alguna actividad. En este caso, la respiración sí se tornaba muy penosa a poco que uno se moviese, siendo la *sutileza* del aire la responsable de acelerar la lasitud y aumentar el agotamiento. Y concluía:

> Je ne dis rien dont je n'aye été le témoin plusieurs fois & que j'eusse vû sans doute encoré plus souvent, si l'expérience n'avoit bien-tôt fait sentir à la plupart d'entre nous qu'il ne leur étoit pas permis de s'exposer à une si extrême fatigue[51].

De hecho, parece que fue D. Antonio de Ulloa quien padeció más claramente un episodio agudo de mal de montaña, al ascender la cumbre del Pichincha para establecer allí una de las estaciones geodésicas. El suceso, por la fecha de establecimiento de dicha estación, debió ocurrir en agosto de 1737. Nos dice Ulloa que el cerro está perennemente cubierto de nieve y hielo, y nos describe su ascensión como molesta e incómoda, practicable solo a pie:

> que con el cansancio natural, por la forzada agitación de subir quatro horas continuas, y con la mucha sutileza del Ayre, hacía desfallecer totalmente las fuerzas, y faltando la respiración, era insoportable la fatiga: llegando ésta a tal extremo, que haviendo subido yo algo más de la mitad, caí en el suelo, donde estuve por largo rato, sin poder tomar aliento, destituido de sentido; perdido el color; y casi sofocado: accidente que me precisó, quando me recuperé, a deshacer el camino, y volverme al pie del Peñón [...] y a emprender la subida en el siguiente Día, lo que tampoco huviera podido

fácilmente– no vincula este hecho ni con el frío ni con la altitud (La Condamine, *op. cit.*, p. 35). Cosa diferente son las pequeñas hemorragias causadas en los labios descritas por Ulloa que detallaremos más adelante (*vid.* nota 56 y texto asociado a ella).

51. Bouguer, P., *op. cit.*, p. XXXVII.

> vencer sin el auxilio de algunos *Indios*, que me ayudaban en lo más fragoso, y recio de la aspereza[52].

La Condamine se hizo eco de este mal trago pasado por Ulloa, indicando que su estado de debilidad le obligó a hacerse llevar a una cueva vecina, donde pasó la noche[53]. Los datos aportados por ambos relatos son interesantes. Como hemos dicho en su momento, el francés subraya la «prodigiosa elevación» del Pichincha. Sin embargo, recalca que él tampoco «sentía personalmente ninguna dificultad en la respiración»[54]… Desde luego, un ascenso a tan elevada altitud en sólo dos días –como parece que se hizo–, y el último y fuerte esfuerzo, constituyen un billete seguro para sufrir un episodio agudo de mal de montaña. Pero la predisposición genética también pudo contar, así como la edad, pues –por lo menos en estos casos– está demostrado que la juventud no es buena compañera: Ulloa tenía sólo 21 años, mientras que La Condamine estaba en los 36 y Bouguer, en los 39. El descenso a pernoctar en una cota más baja, quizá sugerido por los propios indígenas, se imponía –entonces como ahora– como la mejor solución a esta patología[55].

En esa misma obra, por lo demás, Ulloa se extiende sobre la aspereza de aquel clima y las condiciones que hubieron de soportar sobre sus propios cuerpos en bien de la ciencia, describiendo lo que eran indicios de congelación y otros inconvenientes menores pero bien conocidos de quienes frecuentan la alta montaña, pues tenían:

> los Pies tan hinchados y doloridos, que ni el calor era soportable en ellos, ni possible el pisar sin una gran penalidad: las Manos por lo consiguiente quasi heladas; y los labios hinchados, encogidos y rajados, que al movimiento de hablar, u otro semejante empezaban a verter Sangre, por donde se abrían[56].

Bastantes años más tarde (en 1772), Ulloa regresaría sobre alguna de estas cuestiones en sus *Noticias americanas*[57], una obra en la que siguiendo un

52. Juan, Jorge y Ulloa, A.: *Relación histórica del viage a la América meridional*, Madrid, 1748, I parte, tomo II, libro V, cap. II, p. 307, parágrafo 541.
53. La Condamine, Ch. M., *op. cit.*, p. 34.
54. *Ibid.*, *op. cit.*, p. 35.
55. No obstante, no parece que los franceses estuviesen muy dispuestos a reconocer en sus propios relatos sus posibles debilidades. Así, La Condamine indica (*op. cit.*, p. 37) que Bouguer también se halló indispuesto en el Pichincha y tuvo que bajar (aunque no se menciona la causa); de esta situación no hay rastro en el relato de Bouguer. Por lo demás, Ulloa se puso enfermo de nuevo y tuvo que regresar anticipadamente de la expedición al Chimborazo, en noviembre de 1738 (La Condamine, *op. cit.*, p. 69), si bien en este caso el problema no se debió a la altitud.
56. Juan, J. y Ulloa, A.: *Relación histórica*… I parte, tomo II, libro V, cap. II, p. 310, parágrafo 547.
57. Antonio de Ulloa: *Noticias americanas*… Madrid, Imprenta Real, 1792.

esquema muy cercano al del P. Acosta, daba cuenta de la organización natural y humana de los distintos territorios americanos por los que terminó discurriendo su vida (Perú, Cuba, México, Luisiana…).

Estas noticias no dejan de constituir observaciones a menudo cargadas de suposiciones y especulaciones; pero no por ello dejan de poseer cierto interés tanto por tratarse de firma autorizada debido a su formación y experiencia, como por poner en evidencia cuáles era aún los límites de la cultura científica respecto de las grandes altitudes, ya en puertas del último cuarto del siglo XVIII.

Ulloa reconocía ante todo que los efectos del frío y de la sutileza del aire se combinaban especialmente en las tierras altas del Perú y de Quito, haciéndose sentir tanto sobre los cuerpos como sobre los metales:

> Los ayres son secos y sutiles; estos causan tal aridez, que las partes delicadas del cutis se rajan, y particularmente los labios poniéndose doloridos, y brotan sangre; las manos se ponen ásperas y escamosas, y en las articulaciones de los dedos por la parte superior de ellos son las escamas más gruesas que en el resto, tomando un color renegrido, que permanece, sin que el lavarse de continuo lo quite: a esto llaman *chuño*, que es palabra de la lengua de los Indios, y significa cosa arrugada y curtida por el frío. Obsérvase en los metales la penetración del hielo en aquella atmósfera, y lo manifiestan las campanas, que generalmente se rajan, sin que las liberte de este mal la precaución de darles más grosor que el que se acostumbra de ordinario. Ésta, que no se ve tan común como allí en otras partes donde hay hielos más fuertes, prueba que concurre a ello además la sutileza del ayre, o su menos densidad[58].

Sobre estas premisas generales, y haciendo gala de una mente analítica, D. Antonio procuró a continuación separar las causas de los distintos efectos observados, teniendo siempre presente –como acabamos de ver– la especial combinación que de ellos se daba en estas zonas andinas.

La primera cuestión a la que Ulloa parecía especialmente sensible era la del frío, o dicho de modo más general, el resultado de la combinación entre precipitación y temperatura. Según indica, en altitud el ambiente es siempre predominantemente seco –aunque llueva mucho–, mientras que en cotas bajas la atmósfera tendería a ser mucho más húmeda –aunque llueva poco–. La causa de este fenómeno, indicaba:

> no puede proceder de otro principio que de la diferente densidad de la atmósfera, que en donde lo es más, tiene disposición para contraer las

58. *Ibid.*, p. 72, §13.

> partículas menudísimas del agua, y al contrario no las admite en donde es más ligero[59].

Como consecuencia de esta escasa humedad, el calor del sol se sentía de otro modo al que habría correspondido por su clima (empleando el término en su acepción clásica, correspondiente a la oblicuidad con que incidían los rayos del sol). Y es que, en efecto, D. Antonio parecía especialmente sensible a los efectos del frío:

> Luego que se sube del país baxo siente el cuerpo un desconsuelo tan extraordinario, que es mayor que el frío: ningún abrigo es suficiente para moderarlo; el calor del fuego no lo corrige, ni el abrigo de la cama más bien preparada y mejor mullida, basta para mitigarlo. Esto, que dura algunos días, hasta que la naturaleza se acostumbra, molesta aún más en la noche que en el día; y los efectos de la frialdad, sin embargo de los abrigos exteriores, y de las precauciones que se toman, se hace sentir en lo interior del cuerpo un frío semejante al que precede a las calenturas tercianarias[60].

Se trataría, por tanto, de un efecto subjetivo derivado quizá de la inadaptación del cuerpo a un cambio repentino de un clima templado a otro frío, pues:

> no habiendo tenido en tan breve tiempo el suficiente para que los poros se compriman en la correspondencia que conviene, las partículas frígidas se introducen con libertad, y hieren las fibras delicadas de los nervios[61].

Afortunadamente, esta destemplanza sólo duraba de 20 a 30 días, los necesarios para que el cuerpo se habituase al clima. Que en la mente de D. Antonio no se hallaba la cuestión de un efecto derivado exclusivamente de la altitud, ni pensaba en posibles mecanismos de aclimatación se comprueba porque, a renglón seguido, indica que el proceso puede darse a la inversa, al descender de las alturas al llano[62].

Si estos eran los efectos del frío (donde, insistimos, la menor densidad del aire sólo modificaría el ambiente por su incidencia en el grado de humedad), Ulloa establecía diferentes efectos causados por la menor densidad atmosférica, y por tanto, específicamente debidos a la altitud.

En primer lugar se hallaba lo que él denomina *mareo de la Puna*, mucho más molesto que el provocado por el frío, y del que pocos se libraban salvo los ya habituados a vivir en la zona. Siguiendo de nuevo muy de cerca las referencias de Acosta –aunque sin citarlo–, Ulloa lo definía del siguiente modo:

---

59. *Ibid.*, p. 74, §15.
60. *Ibid.*, p. 74, §15.
61. *Ibid.*, pp. 74-75, §15.
62. *Ibid.*, p. 75, §15.

> Consiste en un mal tan incómodo y penoso como el del mar, guardando el orden de los accidentes que son comunes en aquél. La cabeza se desvanece, y se acalora con fuertísimos dolores; a esto acompañan náuseas y fatigas, que producen vómitos biliosos; el cuerpo descaece y siente la falta de fuerzas, que es regular, y también suele acarrear calentura: el alivio que hay en ello es el vómito; pero algunos llegan a ponerse tan abatidos, que dieran cuidado si no se tuviese certeza de que todo el mal no es otra cosa que mareo[63].

Por suerte, el problema sólo duraba uno o dos días; además, su gravedad dependía de la «disposición» de cada persona[64]. Sin duda, lo que Ulloa está describiendo aquí son los síntomas propios del mal de montaña (en sus formas más leves), sobre lo que acertadamente razonaba que la causa no podía hallarse en el frío («si solo fuese éste la causa, sería común en todos los parages donde lo hace»), sino en la calidad del aire (aunque aquí confesaba no saber si por razón de su «ligereza, o por otra que no esté bien conocida»[65]). Creía ver, no obstante, diferencias regionales entre zonas igualmente elevadas, que no era capaz de explicar. En concreto, decía que este mal no se conocía en el territorio alto de la parte de Quito, tan elevado como el del Perú, «o a lo menos no se experimentó quando se hicieron las observaciones»[66]: hemos de confesar que –a la vista de los textos antes mencionados sobre la expedición francoespañola– ésta nos resulta una afirmación desconcertante por lo incierta, y más aún en su caso particular[67]. No es menos sorprendente la que la sigue, donde Ulloa llega a afirmar que existe una relación entre las personas propensas a sufrir mareo en el mar y los referidos síntomas en altura: según él, quienes no se marean, no lo hacen ni en el mar ni en las montañas, lo cual dejaría de lado en la etiología de este mal la cuestión de la menor presión atmosférica para abrir el juego a la existencia de alguna propiedad similar y desconocida inherente al aire de ambos ambientes[68]: los planteamientos aristotélicos que de este problema hizo Acosta seguían vigentes en la mente de D. Antonio… Por lo demás, y manteniendo su incongruencia, Ulloa afirma acto seguido que en las altas montañas de Europa se experimentaba algo parecido a este *mareo de la Puna*, pero sin efectos «tan sensibles y graves»[69]:

63. *Ibid.*, p. 76, §17.
64. *Ibid.*, p. 76, §17.
65. *Ibid.*, p. 76, §17.
66. *Ibid.*, p. 76, §17.
67. Más adelante, D. Antonio vuelve a insistir en la mayor benignidad de las altitudes quiteñas frente a las peruanas, achacando estas diferencias –ya que la presión atmosférica era la misma– al mayor o menor frío, y a «las yerbas» (*Ibid.*, p. 107, §13).
68. *Ibid.*, p. 76-77, §17.
69. *Ibid.*, p. 77, §17.

lógico, puesto que en 1774 aún no se había escalado el Mont-Blanc, la más alta montaña de la Europa Occidental, y la primera de más de 4.000 metros que se ascendió. Por tanto, nadie en Europa había rebasado esa cota –como sí había ocurrido repetidamente en los Andes– en el momento en que Ulloa escribía sus *Noticias americanas*. En cualquier caso, estos síntomas podrían asociarse con los que más adelante también describe –mucho más afortunadamente– como consecuencia de la altitud, tales como:

> una fatiga a modo de sofocación [*al andar*], que […] molesta mucho, obligando […] a hacer largas pausas; y esto sucede aunque sea por terreno llano, para lo qual no hay otra causa que la sutileza del ayre[70].

Y el texto que sigue inmediatamente a éste es importante, porque si bien en todos los que hemos mostrado hasta ahora existía de un modo u otro la referencia a una posible adaptación a la vida en altura, en éste por primera vez se menciona que puede tratarse de un mecanismo fisiológico, pues:

> a proporción que los pulmones se van habituando a aquella atmósfera, va siendo menos [*la sofocación*]; bien que siempre que se intenta subir alguna cuesta se encuentra la dificultad, no siendo posible practicarlo como se hiciera en otra parte, en donde la atmósfera tuviese la densidad regular[71].

Mención aparte la merecen los desfallecimientos y síncopes fatales experimentados por los animales, también descritos –como hemos visto– por Bouguer en esta expedición, así como por Acosta en sus antiguos relatos del paso de la Cordillera. Ulloa lo narraba de este modo:

> Otro accidente se observa con los animales en aquel clima, y es, que quando suben de las planicies a los cerros o Punas […] es tanto lo que se les comprime la respiración, que sin embargo de hacer varias pausas para que tomen aliento, suelen de repente caerse, y quedar muertos[72].

Según apunta D. Antonio, la población local empleaba la expresión *pasarles la veta* para designar y explicar el fenómeno, por atribuirlo al hecho de que el animal pasaba sobre alguna veta mineral que exhalaba emanaciones dañinas (de antimonio, azufre, arsénico y otros). No lo juzgaba plausible el marino andaluz –con toda razón–, puesto que si tal fuera la causa, habría de afectar por igual a caballería y caballero (lo que no sucedía), ni se apreciaban tales vetas de mineral en los lugares donde se producían los síncopes, ni

70. *Ibid.*, p. 78, §19.
71. *Ibid.*, p. 78-79, §19.
72. *Ibid.*, p. 77, §18. En el relato del P. Andrade sobre su tránsito por el Mana-La, podemos hallar referencias semejantes a síncopes y fallecimientos repentinos, aunque referidos a personas y no a animales (*vid.* Mas Galvañ, C., *op. cit.*, p. 158).

tampoco se producían estos fenómenos –fuera en América o en Europa– en los lugares donde, a la inversa, sí existían dichos minerales. La causa de estos accidentes, por tanto, debería buscarse de en la *sutileza* del aire «ayudada de algún otro cuerpo que se halle esparcido en él, sin salir inmediatamente de los poros de la tierra»; de nuevo, Ulloa no va más allá en sus explicaciones. Sin embargo, restaba por explicar por qué los indígenas no habían llegado a su misma conclusión, pese a su larga experiencia. Como hombre del siglo ilustrado que era, D. Antonio no tenía dificultades en hallar esta explicación:

> porque aquellas gentes son muy escasas de luces en estas materias, no teniéndolas de la densidad o ligereza del ayre, ni conociendo los efectos que de ello pueden seguirse; y faltándoles estos principios mal pueden determinar la causa con certeza; y así lo executan en lo que está más aparente a su comprehensión, que es en las minas […] Sus conocimientos de física subterránea, no obstante ser el exercicio de muchos las minas, son tan escasos, que por lo general carecen aún de los más vulgares principios; y así para ellos el ayre de aquellas elevaciones, y el de la parte baxa, es uno mismo en propiedades, sin pasar de aquí; no conocen lo que es elasticidad, densidad ni gravedad[73].

Crítica sin duda justificada, pero un tanto excesiva si tenemos en cuenta que en realidad eran muy escasas las explicaciones que podía aportar la ciencia de la época a los efectos fisiológicos de la altitud.

Para concluir, apuntaremos que no todo resultaba tan duro o negativo en los ambientes de gran elevación. Y es que Ulloa supo ver la bondad que las altitudes (aunque nunca las excesivas) pueden tener en el tratamiento de los asmáticos. Hoy sabemos que, en efecto, vivir entre 1.500 y 2.500 metros (en todo caso, sin superar los 3.000) es beneficioso para quienes padecen esta enfermedad, debido a la disminución de los ácaros, hongos y contaminantes, y a la mayor brevedad de los periodos de polinización. Como en tantos otros aspectos, Ulloa –al igual que sus compañeros de expedición– no podía aún conocer las causas, pero todos ellos habían consolidado una temprana aproximación a la descripción y la comprensión científica de las grandes altitudes.

Fuentes citadas

Bouguer, Pierre: *La figure de la Terre, determiné par les observations de Messieurs Bouguer, & de La Condamine, de l'Académie Royal des Sçiences, envoyés par ordre du Roy au Pérou, pour observer aux environs de l'Equateur. Avec une Relation abregé de ce Voyage, qui contient la description du Pays dans lequel les Opérations ont été faites*, París, Jombert, 1749.

73. Bouguer, P., *op. cit.*, p. 78, §19.

Juan, Jorge y Ulloa, Antonio: *Observaciones astronómicas, y Phísicas hechas de orden de Su Magestad en los Reynos del Perú, por D. Jorge Juan, Comendador de Aliaga en el Orden de San Juan, Socio Correspondiente de la Real Academia de las Ciencias de París, y D. Antonio de Ulloa, de la Real Sociedad de Londres, ambos Capitanes de Fragata de la Real Armada, de las quales se deduce la figura, y magnitud de la Tierra, y se aplica a la navegación*. Madrid, Zúñiga, 1748.

Juan, Jorge y Ulloa, Antonio: *Relación histórica del viage a la América meridional hecho de orden de Su Magestad para medir algunos grados de Meridiano terrestre, y venir por ellos en conocimiento de la verdadera figura y magnitud de la Tierra, con otras varias observaciones astronómicas, y phisicas*, Madrid, Marín, 1748.

La Condamine, Charles Marie de: *Journal du voyage fait par ordre du Roi à l'Équateur, servant d'introduction historique a la mesure des trois premiers degrés du Méridien*, Paris, Imprenta Real, 1751.

Ulloa, Antonio de: *Noticias americanas. Entretenimientos físico-históricos sobre la América Meridional, y la Septentrional Oriental. Comparación general de los territorios, climas y producciones en las tres especies vegetal, animal y mineral, con una relación particular de los indios de aquellos países, sus costumbres y usos, de las petrificaciones de cuerpos marinos, y de las antigüedades. Con un discurso sobre el idioma, y conjeturas sobre el modo con que pasaron los primeros pobladores*, Madrid, Imprenta Real, 1792.