

Respirando en la cima del mundo

Desde la antigüedad, el hombre se ha sentido atraído por la superación de los obstáculos naturales y por la exploración de lo desconocido, tanto en la geografía como en la ciencia. Es posible que las emociones de un montañista que alcanza su cumbre y las de un científico que llega a su descubrimiento sean muy similares. Para quien haya hecho sus intentos en cualquiera de estos campos, es factible evocarlas, aunque resulta difícil imaginar la suma de ambas. Quizás habría que preguntar a los investigadores de la expedición Caudwell Xtreme Everest (CXE), así como a sus predecesores, que consiguieron ambas metas. CXE es una mega-expedición científica que involucró a más de 200 montañistas y científicos instalados entre abril y mayo de 2007 en el pico más alto del mundo, con la intención de recabar múltiples datos fisiológicos en tan difíciles condiciones¹. Resulta admirable el esfuerzo logístico de semejante expedición, que involucró la instalación de varias toneladas de equipo técnico y médico y el transporte de muestras entre campamentos.

Con diferentes motivaciones, los conquistadores españoles del siglo XVI también enfrentaron dificultades logísticas y reconocieron el efecto negativo de la hipoxia hipobárica durante sus incursiones en los Andes. Era evidente para ellos el malestar y el deficiente desempeño físico en contraste con el vigor mostrado por los habitantes de esas alturas.

En nuestro país, a 32° de latitud sur, el Aconcagua, con una altura de 6962 metros, constituye una cima preciada para los amantes del montañismo. Lamentablemente, su creciente convocatoria no se ha acompañado por un aumento en la producción científica, como sucede con otros picos²⁻⁶.

A diferencia de esto, con manifiesto sensacionalismo y consecuente desmedro del rigor, los medios de comunicación se han ocupado en el verano del 2009 de esta montaña. Titularon “la tragedia del Aconcagua” al episodio en el cual una andinista italiana y un guía argentino perdieron la vida. Estas muertes no fueron las únicas de esa temporada: otros cuatro andinistas fallecieron, elevando a seis el número de víctimas fatales. Esto generó una extensa polémica acerca de la competencia de los servicios de emergencia de alta montaña y la necesidad de limitar los ascensos. La cuestión bien podría haberse resuelto luego de la simple observación de las estadísticas de los ascensos al Aconcagua de los últimos 20 años (Fig. 1). Si bien la mortalidad en el 2009 aumentó 6.75 veces respecto de la del año 2008, durante el período 2001-2009 fue de 0.07%, menos de la mitad que en el período anterior (1991-2000: 0.16%). Esto ocurrió no obstante el sostenido aumento de montañistas por arriba del campamento base⁷. Si bien no se puede establecer una relación causal, es evidente la relación temporal entre el incremento del número de normas referidas al Aconcagua y el descenso de la mortalidad.

Para poner esto en perspectiva, pero sin quitarle la importancia que el *Techo de América* merece, si bien la mortalidad en otras montañas populares es estadísticamente mayor, la diferencia se estrecha si se la corrige por días de exposición⁸ (Tabla 1).

A simple vista, llaman la atención las diferentes proporciones en las causas de muerte respecto del Aconcagua, sólo comparables a las halladas en turistas por debajo de los campamentos base en el Himalaya³. Las diferencias ambientales y la baja dificultad técnica de la Ruta Normal o Noroeste, que algunas promociones turísticas subestiman como “el *trekking* más alto del mundo”, podrían justificar estos hallazgos. Cabe aclarar que, por ser la más transitada, esta ruta se llevó el 61% de las muertes.

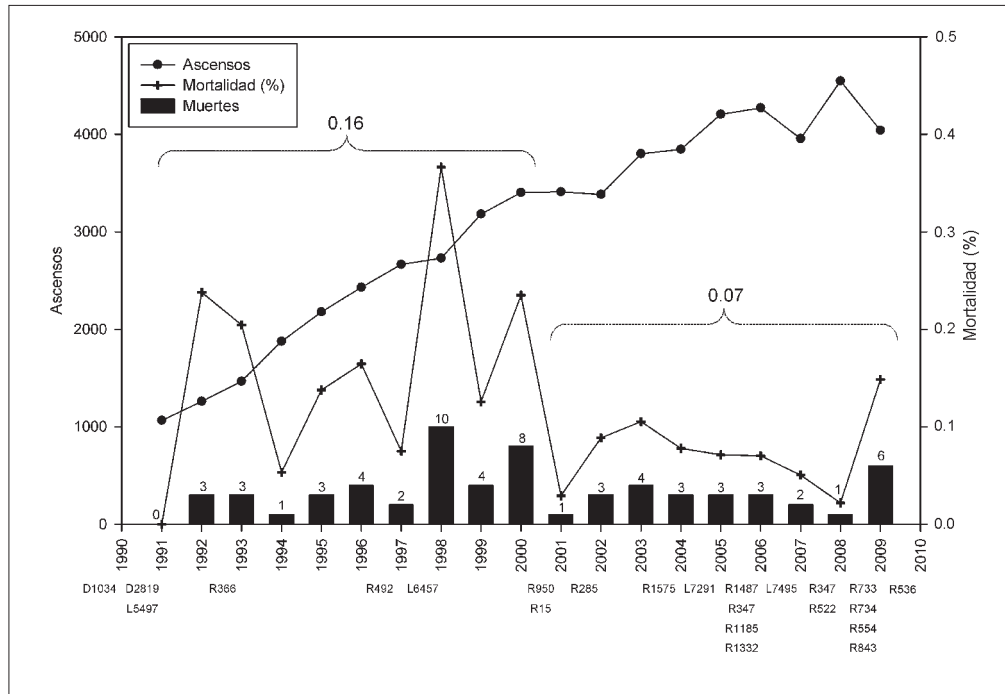


Fig 1.— Ascensos (montañistas por encima del campamento base a 4350 m), mortalidad (%) y número de muertes durante el período 1991-2009. Los corchetes señalan el promedio de mortalidad (%) para el lapso comprendido. Debajo de la abscisa, se observa la relación temporal con las leyes provinciales (L), decretos (D) y resoluciones (R) implementadas.

TABLA 1.— Comparación de las cumbres más altas de Norteamérica y Asia con el Aconcagua

	Aconcagua ^{7, 10} (1991-2009)	McKinley ^{6, 11} (1991-2009)	Everest ⁴ (1990-2006)
Altura (metros)	6962	6194	8848
Latitud	32° S	63° N	27° N
Ascensos (n)	57718	22572	5322
Muertes (n)	64	42	75
Mortalidad (%)	0.11*	0.19	1.41
Duración expedición (días)	11	17.3	47.2
Muertes/1 000 000 días de exposición	100.8	107.6	298.6
RR mortalidad	1	1.7	12.8
RR muertes/1 000 000 días de exposición	1	1.1	3
Causas de muerte:			
Trauma (%)	26*	69	59**
MAM (%)	25 [#]	17	9**
Otras causas no traumáticas (%)	14	7	9**
Desconocido (%)	35	7	23**

Ascensos: cantidad de montañistas y guías por encima del campamento base. Muertes: incluye montañistas y guías. Mortalidad: muertes/ascensos x 100. Duración expedición: duración media de una expedición por encima del campamento base. RR: riesgo relativo. Trauma: muertes por caídas o avalanchas. MAM: mal agudo de montaña (incluye edema pulmonar y edema cerebral de la altura). Otras causas no traumáticas: incluye congelamiento, muertes súbitas y otras no clasificadas.

* $p < 0.0114$ respecto de McKinley y Everest, $^{\#}p < 0.0274$ respecto del Everest.

**Datos del período 1950-2006

A pesar de los casi 2000 metros de diferencia entre los picos más altos de Oriente y Occidente, hay ciertas consideraciones a tener en cuenta a la hora de ascender a este último:

1. El clima del Aconcagua es proporcionalmente más frío debido a la mayor distancia al Ecuador, con respecto al Everest. Esto determinaría mayor peligro de lesiones y muerte por congelamiento.

2. La humedad ambiente en el Aconcagua es menor. La vegetación desaparece a 3500 metros de altura, mientras que en el Himalaya ocurre cerca de los 5000 metros. Esto implicaría mayor riesgo de deshidratación y de mal de montaña agudo (MAM).

3. La presión barométrica en el Aconcagua es proporcionalmente menor que en el Everest. Esto es debido al clima más frío y, en menor medida, a la mayor latitud⁵. En su cumbre (6962 m), la presión barométrica y la presión parcial de oxígeno en el aire inspirado son iguales a las halladas a 7466 m en el Everest.

La predicción del MAM es un tema debatido. En el presente número, Garófoli y colaboradores sugieren que una simple prueba de ejercicio podría predecir el desarrollo de MAM grave⁹. Es esperable que su aplicación contribuya a disminuir, entre otras cosas, la demanda de asistencia médica en ambientes tan hostiles.

Muchas son las variables fisiológicas que han sido estudiadas en semejantes condiciones. Sin duda unas de las más impactantes son las referidas a la composición de los gases en sangre arterial. Los hallazgos son comparables a los de sujetos con hipoxemia grave (PaO_2 35 mm Hg), como en el trastorno respiratorio agudo del adulto, y con hipocapnia marcada como la observada en la cetoacidosis diabética (PaCO_2 10 mm Hg), a nivel del mar. Sin embargo, los datos disponibles hasta ese momento eran aislados o en condiciones simuladas^{2, 12}. En un artículo publicado en enero de 2009 en el *New England Journal of Medicine* y mencionado en esta revista¹³, Grocott y colaboradores informan los hallazgos gasométricos en sangre arterial de sujetos cerca de la cumbre del Everest². Entre otros hallazgos, los autores obtienen un valor de la diferencia alvéolo-arterial de oxígeno [D(A-a)O_2] de 5.41 mm Hg (rango 2.89-7.81) en 4 voluntarios a 8400 metros de altura. Este valor fue juzgado como aumentado y atribuido a algún grado de edema pulmonar subclínico relacionado con la altura o a una limitación de la difusión pulmonar. Al respecto, deseamos hacer algunas consideraciones:

El valor normal de D(A-a)O_2 a nivel del mar es de 5-20 mm Hg. Cabe preguntarse en qué se basaron los autores para decir que la D(A-a)O_2 está aumentada. Hace más de 20 años, Sutton y colaboradores¹² estudiaron individuos sanos desde el nivel del mar hasta una altura simulada en cámara hipobárica de 8847 metros (6 voluntarios sentados). A dicha altura la D(A-a)O_2 fue de 1.5 ± 1.0 mm Hg, mientras que a nivel del mar fue de 5 ± 4.3 mm Hg. Se puede observar que los valores de D(A-a)O_2 a nivel del mar de Sutton son similares a los de Grocott en la altura. Consideramos un error metodológico no haber informado (si la midieron) la D(A-a)O_2 a nivel del mar de los sujetos estudiados por Grocott. No es menos preocupante que, a alturas intermedias, Sutton haya informado valores negativos de la D(A-a)O_2 , ciertamente una condición sólo compatible con la presencia de clorofila en lugar de hemoglobina.

Grocott se basa en el trabajo de Hammond, para señalar que la D(A-a)O_2 en la altura debería ser menor de 2 mm Hg¹⁵. Esto es derivado de la ecuación de predicción obtenida con técnica de eliminación de múltiples gases inertes (MIGET) que permite cuantificar el intercambio gaseoso en unidades de diferente relación \dot{V}/\dot{Q} , incluyendo *shunt*. Es de interés puntualizar que esta ecuación:

1) Mide volumen minuto cardíaco, ventilación pulmonar, hemoglobina, Hto, temperatura corporal, EB, PiO_2 , PiCO_2 y P_B . Grocott midió la hemoglobina extraída a 5300 metros, la temperatura corporal no fue medida, la P_B fue medida a toda altura pero el aparato de medición de gases estaba a 6400 metros y tenía una modificación interna para poder analizar la muestra a P_B 450 mm Hg. Esto requirió una ecuación de corrección.

2) Asume un valor normal de P_{50} de 26.8 mm Hg. Este valor es válido para estudios a nivel del mar. Existe sólo un informe de P_{50} en la altura en un humano: el valor hallado fue de 19.4 mm Hg². Este

aumento de la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno coincide con observaciones en gansos y chinchillas^{16, 17}.

3) Mide distribución de la relación \dot{V}/\dot{Q} con los datos del MIGET. Los datos de la relación \dot{V}/\dot{Q} del MIGET¹⁵ fueron obtenidos en cámara hipobárica en sujetos sentados, mientras que en el trabajo de Grocott los sujetos estaban acostados; posiciones que claramente modifican la relación \dot{V}/\dot{Q} .

4) Calcula $P\bar{V}O_2$, $P\bar{V}CO_2$ a partir de los datos previos, de la $\dot{V}O_2$ y el $\dot{V}CO_2$. Grocott no midió $P\bar{V}O_2$ ni $P\bar{V}CO_2$. Ambas variables pueden verse afectadas por la baja disponibilidad de oxígeno.

De manera que las condiciones en las que se obtuvo la ecuación invocada para predecir una disminución de la $D(A-a)O_2$ en la hipobaría simulada no son comparables a las del Everest.

Otra fuente potencial de error es la supresión de oxígeno suplementario 20 min antes de efectuar las mediciones. Esto puede generar inestabilidad de los depósitos de CO_2 y afectar el cociente respiratorio (R)¹⁸. Si bien la respiración a FiO_2 0.21 durante 20 min es suficiente en sujetos normales para eliminar todo el O_2 suplementario de la circulación, la caída de la PaO_2 bien puede producir hiperventilación adicional, aumentar el R y justificar, al menos en parte, la alcalosis hallada (no se dispone en esta expedición de gases arteriales con O_2 suplementario para comparar la $PaCO_2$). Veinte minutos de hiperventilación (aun sobreimpuesta a la crónica) pueden aumentar el R a 0.84-1.00 (luego de los primeros 5 min de hiperventilación el R puede alcanzar valores de 1.2 o superiores, reflejando el lavado de los depósitos rápidos de CO_2). Si el R utilizado hubiese sido 0.97 en lugar de 0.74 la $D(A-a)O_2$ resultante sería 8.87 mm Hg¹⁵. Grocott midió el R a 7950 m, 24 h antes de hacer cumbre.

Los modelos de adaptación a la hipoxia hipobárica son complejos. El clásico modelo de "adaptación exitosa" vigente desde las primeras observaciones de Viault en 1890, fue puesto en duda a partir de los estudios realizados desde fines de los años 70 que mostraron diferencias significativas entre habitantes de grandes alturas en diferentes regiones del planeta (Andes, Tibet, Etiopía) aun viviendo a similares alturas. Esto dio lugar a hipótesis de carácter evolutivo para explicar estas diferencias y se sugirieron diversos modelos genéticos de adaptación¹⁹. El trabajo de Grocott no menciona las características étnicas de los sujetos estudiados, lo que ayudaría a explicar algunas diferencias entre los cuatro sujetos¹⁴.

No podemos eludir que los resultados de CXE corresponden a una serie acotada de casos. Del grupo de 10 escaladores, 8 alcanzaron la cumbre y sólo en 4 se pudieron obtener los datos descriptos. Esto refleja en parte las dificultades que debieron atravesar y el notable esfuerzo que representaron la expedición y el experimento. De todas maneras, la información obtenida es de gran valor e interés fisiológico. Dado el éxito de la expedición en su primera temporada, la misma fue reiterada en las temporadas de 2008 y 2009, y se espera aún la publicación de sus resultados.

De hace casi 30 años a la actualidad, el cuerpo de conocimiento se ha venido ampliando a través de las diversas expediciones. Creemos sin embargo que ciertos aspectos de la fisiología de la altura se encuentran aún en etapa embrionaria.

Agradecimientos: a María Paz Cóvolo y Daniel Gómez, de la Dirección de Recursos Naturales Renovables de Mendoza, por la información suministrada.

Santiago C. Arce, Eduardo L. De Vito
Instituto de Investigaciones Médicas Alfredo Lanari, UBA.
e-mail: arcesantiago@fibertel.com.ar

1. Grocott MPW. Caudwell Xtreme Everest: understanding hypoxia in the critically ill. *Bulletin of the Royal College of Anaesthetists* 2008; 47: 2391-96.
2. Winslow R, Samaja M, West J. Red cell function at extreme altitude. *J Appl Physiol* 1984; 56: 109-16.
3. Shlim DR, Gallie J. The causes of death among trekkers in Nepal. *Int J Sports Med* 1992; 13: S74-6.
4. Salisbury R, Hawley E. The Himalaya by the Numbers: a statistical analysis of mountaineering in the Nepal Himalaya, september 2007. En: <http://www.himalayadatabase.com>; consultado el 19/10/2009.
5. Helman A. Air pressure and Mount McKinley. En: http://www.cohp.org/ak/notes/pressure_altitude_simplified_II.html; consultado el 19/10/2009.
6. McIntosh SE, Campbell AD, Dow J, Grissom CK. Mountaineering fatalities on Denali. *High Alt Med Biol* 2008; 9: 89-95.
7. Parque Provincial Aconcagua. En: <http://www.aconcagua.mendoza.gov.ar/estadisticas.pdf>; consultado el 5/8/2009.
8. Windsor JS, Firth PG, Grocott MP, Rodway GW, Montgomery HE. Mountain mortality: a review of deaths that occur during recreational activities in the mountains. *Postgrad Med J* 2009; 85: 316-21.
9. Garofoli A, Montoya P, Elías C, Benzo R. *Medicina (Buenos Aires)* 2010; 70: 3-7.
10. In memoriam. En: <http://www.aconcaguatrek.com/in-memoriam.asp>; consultado el 19/10/2009.
11. Annual Mountaineering Summaries 1991-2009. En: <http://www.nps.gov/dena/planyourvisit/summaryreports.htm>; consultado el 19/10/2009.
12. Sutton JR, Reeves JT, Wagner PD, et al. Operation Everest II: oxygen transport during exercise at extreme simulated altitude. *J Appl Physiol* 1988; 64: 1309-21.
13. Kotsias BA. Caveat lector. *Medicina (Buenos Aires)* 2009; 69: 191-192.
14. Grocott MPW, Martin DS, Levett DZH, McMorrow R, Windsor J, Montgomery HE. Arterial blood gases and oxygen content in climbers on Mount Everest. *N Engl J Med* 2009; 360: 140-9.
15. Hammond MD, Gale GE, Kapitan KS, Ries A, Wagner PD. Pulmonary gas exchange in humans during normobaric hypoxic exercise. *J Appl Physiol* 1986; 61: 1749-57.
16. Petschow D, Wurdinger I, Baumann R, et al. Causes of high blood O₂ affinity of animals living at high altitude. *J Pediatr Hematol Oncol* 1977; 42: 139-43
17. Ostojic H, Cifuentes V, Monge C. Hemoglobin affinity in Andean rodents. *Biol Res* 2002; 35: 27-30
18. Farhi LE, Rahn H. Gas stores of the body and the unsteady state. *Anesthesiology* 1955; 7: 472-84
19. Maloney JP, Broeckel U. Epidemiology risk factors, and genetics of high-altitude-related pulmonary disease. *Clin Chest Med* 2005; 26: 395-404.

Many philosophers of science think that although the whole truth and nothing but the truth is an asymptote, science is producing objective and increasingly comprehensive descriptions of a largely invisible world. Other philosophers would not go this far. Some would insist that even our best scientific theories are only models, whose job it is to generate accurate predictions, not to reveal a hidden reality. Some are depressed by the graveyard of discarded theories that litter the history of science, theories that were predictively successful for a time but that we know now to be fundamentally mistaken. The claim that today's science has finally gotten on the right track may sound like whistling in the dark.

Muchos filósofos de la ciencia piensan que aunque toda la verdad y nada más que la verdad es una asíntota, la ciencia produce descripciones objetivas cada vez mayores e integrales de un mundo en su mayor parte invisible. Otros filósofos no irían tan lejos. Algunos insistirían que aun nuestras mejores teorías científicas son sólo modelos cuya tarea es generar predicciones certeras, no revelar una escondida realidad. Algunos están deprimidos por el cementerio de teorías descartadas que pueblan la historia de la ciencia. Teorías que fueron predictivas y exitosas por un tiempo pero que ahora sabemos fundamentalmente erróneas. Afirmar que la ciencia de hoy está finalmente en la buena senda puede sonar como un silbido en la oscuridad.

Peter Lipton

The World of Science. *Science* 2007; 316: 834. Reseña de *Scientific Perspectivism*, por Ronald N. Giere. Chicago: University of Chicago Press, 2006