



Apunts Educación Física y Deportes

ISSN: 1577-4015

ISSN: 2014-0983

pubinefc@gencat.cat

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya  
España

ACEÑA MEDINA, JAVIER; ALLUEVA TORRES, PEDRO

Efectos de la hipoxia en montañeros expuestos a altitudes extremas

Apunts Educación Física y Deportes, vol. 33, núm. 127, 2017, -Marzo, pp. 44-51

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya

España

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=551663337004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org  
UAEM

Sistema de Información Científica Redalyc  
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Efectos de la hipoxia en montañeros expuestos a altitudes extremas

*Effects of Hypoxia on Mountaineers Exposed to Extreme Altitudes*

**JAVIER ACEÑA MEDINA<sup>1</sup>**

**PEDRO ALLUEVA TORRES<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>Centro Universitario de la Defensa. Centro adscrito a la Universidad de Zaragoza (España)

<sup>2</sup>Facultad de Educación. Universidad de Zaragoza (España)

\* Correspondencia: Pedro Allueva Torres ([pallueva@unizar.es](mailto:pallueva@unizar.es))

## Resumen

La práctica del montañismo goza en la actualidad de una gran popularidad entre nuestros deportistas. Los montañeros que se mueven en grandes altitudes se ven expuestos frecuentemente a climatologías muy adversas y vías de gran dificultad física y técnica, pero posiblemente el enemigo más temible al que se tienen que enfrentar tiene que ver con los indeseables efectos de la hipoxia. La presente investigación se centra en constatar posibles deterioros en las habilidades del pensamiento de un grupo de montañeros expuesto a altitudes extremas (por encima de los 5.500 metros), sin ayuda de oxígeno suplementario. Para ello hemos contado con la participación de montañeros de tres expediciones a los “ochomiles” Manaslu, Makalu y Gasherbrum II a los que se aplicaron pruebas de aptitudes mentales antes, durante y después de cada expedición. La singularidad de nuestro estudio reside en haber incorporado resultados de pruebas realizadas en altitudes extremas, en concreto a 5.800, 6.200 y 6.000 metros respectivamente. Los resultados ponen de manifiesto que de todas las áreas y funciones cognitivas evaluadas, parece ser que las más afectadas por los efectos de la hipoxia han sido las relacionadas con la capacidad de razonamiento abstracto, espacial y verbal. Los deterioros más evidentes se observaron en altitud, persistiendo estos a la semana de regresar. Tras seis meses dichos déficits se recuperaron por completo.

**Palabras clave:** altitud extrema, hipoxia, habilidades del pensamiento

## Abstract

*Effects of Hypoxia on Mountaineers Exposed to Extreme Altitudes*

*Nowadays mountaineering is highly popular among our athletes. Mountaineers operating at high altitudes are often exposed to very adverse weather conditions and routes of great physical and technical difficulty, but possibly the most fearsome enemy they have to face has to do with the undesirable effects of hypoxia. This research focuses on confirming possible deterioration of the thinking skills of a group of mountaineers exposed to extreme altitudes (above 5,500 meters) without the aid of additional oxygen. To do this, we have studied mountaineers on three expeditions to the “eight-thousanders” Manaslu, Makalu and Gasherbrum II who were given mental skills tests before, during and after each expedition. The uniqueness of this study lies in having included results of tests performed at extreme altitudes, in particular at 5,800, 6,200 and 6,000 meters respectively. The results show that in all the areas and cognitive functions assessed, it seems that the most affected by the effects of hypoxia were those related to abstract, spatial and verbal reasoning ability. The most obvious decline was observed at altitude and persisted one week after their return. After six months, recovery from these deficiencies was complete.*

**Keywords:** extreme altitude, hypoxia, thinking skills

## Introducción

Aunque el efecto indeseable de la altitud es un hecho conocido desde hace siglos por las poblaciones indígenas que habitan de manera permanente a gran altitud, se atribuyen al jesuita español José de Acosta las primeras descripciones documentadas sobre lo que más tarde se denominaría el “mal de altura”. De Acosta (1590) relata en su diario *Historia Natural y Moral de las Indias*

su propia experiencia durante una expedición mientras transitaba por el Camino del Inca que lleva de Lima a Cuzco, en Pariacaca, a 4.575 metros de altitud. Los hombres que le acompañaron le llegaron a pedir confesión pensando que iban a morir tras sus muchas arcadas, vómitos y expulsar sangre por la boca. Acosta señalaba que el paso por las montañas afecta el normal funcionamiento del cuerpo de los hombres (y de los animales).

La principal aportación del religioso fue la de vincular estos síntomas con la altitud y que tras efectuar un descenso importante, dichos efectos decrecían.

En 1878 Paul Bert, considerado por muchos el padre de la fisiología de la altitud, publicaba *La pression barométrique*, obra en la que se relaciona por primera vez la presión barométrica con los cambios que experimentan las personas en altura, a consecuencia de la reducción de la capacidad de captación de oxígeno por parte del organismo. Bert descubrió que la hipoxia es la responsable de los efectos nocivos agudos de la reducción de la presión parcial del oxígeno del aire sometido a la disminución de la presión barométrica. A medida que ascendemos la presión atmosférica disminuye de manera exponencial. A nivel del mar esta es de 1 atmósfera o 760 milímetros de mercurio, a 5.500 m de altitud su valor descende a la mitad, y sobre los 8.500 m a la tercera parte. A gran altitud, la sangre de los montañeros contiene menos oxígeno, pero ello no es debido como mucha gente cree a que la proporción de oxígeno sea menor a medida que ascendemos. La proporción de oxígeno en el aire se mantiene constante alrededor de un 21% hasta los límites de la troposfera terrestre (unos 15.000 metros de altitud), el 79% restante está constituido por nitrógeno y por pequeñas cantidades de otros gases (vapor de agua, anhídrido carbónico, gases nobles, etc.). Lo que disminuye con la altitud, por tanto, no es la proporción de oxígeno sino la presión parcial de oxígeno del aire.

De todos los sistemas, el sistema nervioso central es el de mayor sensibilidad a la hipoxia (Ward, Milledge, & West, 2000). Sus nocivos efectos se dejan notar de manera más intensa en el cerebro, ya que después del corazón es el órgano que consume más oxígeno por gramo de tejido. Nuestro cerebro, aunque supone tan solo un 2% de nuestra masa corporal, consume un 20% del total de glucosa y oxígeno disponible en nuestro organismo, por lo que cualquier disminución en dicho aporte puede traer consigo alteraciones cognitivas evidentes.

Las difíciles condiciones metereológicas, unidas a la dificultad del terreno, y sobre todo las consecuencias indeseables mencionadas de la hipoxia, hacen que consideremos el montañismo a gran altitud como una actividad de alto riesgo. La literatura reporta muchos casos de accidentes en los que experimentados montañeros cometieron decisiones incomprensibles que jamás hubieran cometido a cotas más bajas. Debido a esa sensibilidad cerebral a la hipoxia, nuestra capacidad de realizar juicios y apreciaciones exactas se ve deteriorada cuando nos movemos a grandes altitudes, y no cabe duda de que este hecho

contribuye a incrementar la posibilidad de una fatalidad (Milledge, 2002). Reconocidos autores (Clark, Heaton, & Wiens, 1983; Hornbein, 1992; Milledge, 2002; Townes, Hornbein, Schoene, Sarnquist, & Grant, 1984) resaltan el notable deterioro mental que se produce por la exposición a grandes altitudes como causa importante a la hora de explicar por qué se cometan más errores y descuidos de lo normal. Además, debemos tener en cuenta que, como comenta Cachán (2014), este es un deporte de enorme exigencia física y psíquica entre los considerados “de sacrificio” por tener que soportar dolores físicos y psíquicos que crecen de forma imparable. Efectivamente, parece ser que en estas condiciones la capacidad de evaluación situacional y la adecuada toma de decisiones de los montañeros sufren una merma significativa, y que dichas causas puedan estar relacionadas con el origen de muchos de los accidentes que se producen como consecuencia de esta práctica deportiva tan extendida.

Al hilo de estas consideraciones, el objetivo general de nuestra investigación radica en averiguar si en condiciones de hipoxia reales (no simuladas), la exposición de un grupo de montañeros a altitudes extremas y sin apoyo de oxígeno suplementario, causa un deterioro evidente en sus habilidades del pensamiento. De igual modo, y como objetivos particulares, tratamos de determinar las capacidades mentales más afectadas, el momento en que se producen los mayores deterioros cognitivos y, finalmente, comprobar si transcurrido un tiempo relativamente prolongado dichas habilidades se recuperan por completo. Se ha considerado como *altitud extrema* aquella superior a los 5.500 m, por encima de la cual es prácticamente imposible vivir de manera permanente, manifestándose deterioros fisiológicos evidentes (Richalet & Herry, 2006). Para ello, se aplicaron una serie de pruebas psicológicas relacionadas con las habilidades del pensamiento a un grupo de montañeros antes, durante y después de tres expediciones a los “ochomiles” Manaslu (8.163 m), Makalu (8.463 m) y Gasherbrum II (8.035 m).

En la línea de nuestro estudio, otros investigadores (Bonnon, Nöel-Jorand & Therme, 1995; Garrido, 1998; Ryn, 1988) atribuyen a la disminución del rendimiento intelectual consecuencia de la exposición a grandes altitudes la causa de muchos accidentes mortales que ocurren en alta montaña. Desde un enfoque dirigido al estudio del pensamiento y el razonamiento, se pueden citar entre otros, los trabajos sobre la memoria (Aceña, Allueva, Ayora, Palop, & Ruiz, 2015; Horbein, 1992; Shukitt-Hale et al., 1994); procesos de atención (Bonnon, 2000; Virués-Ortega, Segui & Buela-Casal, 2002); razonamiento (Abraini, Bouquet,

Expedición	GC	GE
Manaslu	8	8
Makalu	7	5
Gasherbrum II	7	5

GC: grupo control, GE: grupo experimental.

**Tabla 1.** Número de participantes en la investigación

Joulia, Nicolas, & Kriem, 1998; Allueva, Garrido, Aceña, Palop, & Morandeira, 2006; Allueva, Palop, Aceña, Ayora, & Morandeira, 2004; Cavaletti, Moroni, Garavaglia, & Tredici, 1987; Kennedy, Dunlap, Banderet, Smith, & Houston, 1989; Virués-Ortega et al., 2002); fluidez verbal (Hornbein, Townes, Shoene, Sutton, & Houston, 1989; Lieberman, Protopapas, & Kaniki, 1995); inteligencia (Regard, Oelz, Brugger, & Landis, 1989); procesos metacognitivos (Janowsky, Shimamura, & Squire, 1989); resolución de problemas (Koller, Bischoff, Bhrer, Fólder, & Schopen, 1991); funcionamiento neurocognitivo (Townes, Horbein, & Schoene, 1993), y tiempos de reacción (Mackintosh, Thomas, Olive, Chesner, & Knight, 1988). Por otra parte, Allueva, Garrido, Javierre, Palop y Aceña (2016), en altitudes simuladas a 4800 m, mediante el test de hipoxia normobárica (HN) de Richalet et al. (1988), no encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en ninguna de las habilidades cognitivas medidas en el test de aptitudes mentales primarias (PMA) de Thurstone (1969).

## Material y métodos

### Muestra

En todo momento se contó con un grupo experimental (GE) que participaba en las expediciones, expuesto por tanto a situaciones de hipoxia. Igualmente, se contó con un grupo de control (GC) que no participaba en las expediciones, no expuesto a dichas condiciones. Los grupos eran similares en cuanto a edad, sexo (todos varones), nivel cultural, preparación técnica y experiencia profesional en alta montaña. Los participantes del GE pertenecían al Grupo Militar de Alta Montaña (GMAM) de Jaca (Huesca), y también era de la misma población el Departamento de Montaña de la Escuela Militar de Montaña y Operaciones Especiales (EMMOE), al que pertenecían los del GC. La totalidad de los participantes contaban con una gran experiencia en alta montaña y un amplio historial de ascensiones. Algunos de los miembros del Departamento de Montaña habían pertenecido

con anterioridad al GMAM. Los métodos utilizados con los participantes se realizaron tras la obtención del consentimiento informado de todos ellos. En cuanto al tamaño de la muestra hay que destacar que se ha trabajado con grupos constituidos con anterioridad a la investigación. Respecto al número de participantes, éste se suele considerar normal en expediciones de alta montaña. Evidentemente, en situaciones controladas de laboratorio, como pueden ser los estudios simulados en cámaras hipobáricas, se pueden solventar parte de estos problemas haciendo pasar de manera continua por la misma a un número elevado de personas. Sin embargo, la validez externa del experimento se vería muy afectada, siendo difícil generalizar los resultados encontrados al contexto natural que se pretende. (*Tabla 1*)

### Diseño

Se ha utilizado un diseño de tipo “cuasi-experimental pretest-posttest con grupo de control no equivalente”. Este diseño es uno de los más utilizados en ciencias sociales donde es habitual que ambos grupos sean unidades ya constituidas con anterioridad a la investigación y por tanto no poseen la equivalencia que se obtendría al asignar aleatoriamente las personas participantes a los grupos. No obstante, se ha procurado controlar, mediante una evaluación pretest, si existen diferencias importantes entre los grupos antes del tratamiento.

### Variables

Se determinó como variable independiente (VI) la exposición a la altitud (siempre superior a 5.500 m) y como variable dependiente (VD) el deterioro observado en las habilidades del pensamiento de los montañeros expuestos a situaciones de hipoxia.

### Instrumentos de evaluación

Como instrumentos de medida se utilizaron la adaptación española del Test de aptitudes diferenciales DAT de Bennet, Seashore y Wesman (1995), en sus formas M y L, así como el Test de aptitudes diferenciales DAT 5 de Bennet, Seashore y Wesman (2000), en sus formas 1 y 2. Se trata de pruebas de gran simplicidad y facilidad en la administración, ampliamente utilizadas en el área de la evaluación psicológica y construidas para proporcionar un amplio perfil de información

sobre las aptitudes de las personas en múltiples áreas. En concreto, miden el razonamiento verbal (RV), abstracto (RA), espacial (RE), mecánico (RM) y numérico (RN). Igualmente incorporan una prueba de rapidez y precisión perceptiva (CSA), que no siendo una prueba de razonamiento específica como las anteriores, valora la rapidez de percepción, retención momentánea y precisión de las respuestas. Se decidió la inclusión de esta prueba a fin de detectar problemas en la capacidad visual de los participantes. Las formas M y L del DAT se utilizaron en la primera investigación en la expedición al Manaslu (pruebas RV, RA, RE y CSA). En cambio, las formas 1 y 2 del DAT-5 fueron utilizadas en las investigaciones de las expediciones al Makalu (pruebas RV, RA, RE y CSA) y al Gasherbrum II (pruebas RM y RN).

## Procedimiento

Las pruebas se aplicaron a ambos grupos en diferentes momentos: con anterioridad a la expedición (momento 1), durante la misma (momento 2), inmediatamente a su regreso (momento 3) y transcurridos 6 meses del regreso de la expedición (momento 4). (*Tabla 2*)

Todas las pruebas antes y después de las expediciones se realizaron en las instalaciones de la EM-MOE, Jaca. Las pruebas en altitud se realizaron en cotas diferentes, todas ellas superiores a los 5.500 metros. En la primera expedición (Manaslu) se realizaron las pruebas a 5.800 m de altura, en la segunda expedición (Makalu) a 6.200 m y en la tercera (Gasherbrum II) a 6.000 m. Dichas altitudes se determinaron a criterio del jefe de la expedición con asesora-



**Figura 1.** Miembros del GE realizando pruebas de razonamiento a 5.800 m de altitud, durante la ascensión al Manaslu

Instrumentos de medición			MA			
Expedición	Test	Subtests	1	2	3	4
Manaslu	DAT	RA, RV, RE, CSA		X	X	X
Makalu	DAT-5	RA, RV, RE, CSA	X	X	X	X
Gasherbrum II	DAT-5	RM, RN	X	X	X	X

**Tabla 2.** Instrumentos de medición y momentos de aplicación (MA)

miento del médico de la misma, teniéndose en cuenta en todo momento criterios de comodidad, el estado de los participantes (ausencia de fatiga física o mental o de síntomas del mal de altura), las condiciones atmosféricas (adecuadas condiciones de visibilidad, temperatura, viento, etc.) y parámetros de seguridad (lugar alejado de zona de caída de piedras o riesgo de aludes y avalanchas). Los participantes se encontraban perfectamente aclimatados en el momento de realizar las diferentes pruebas en altitud.

## Resultados

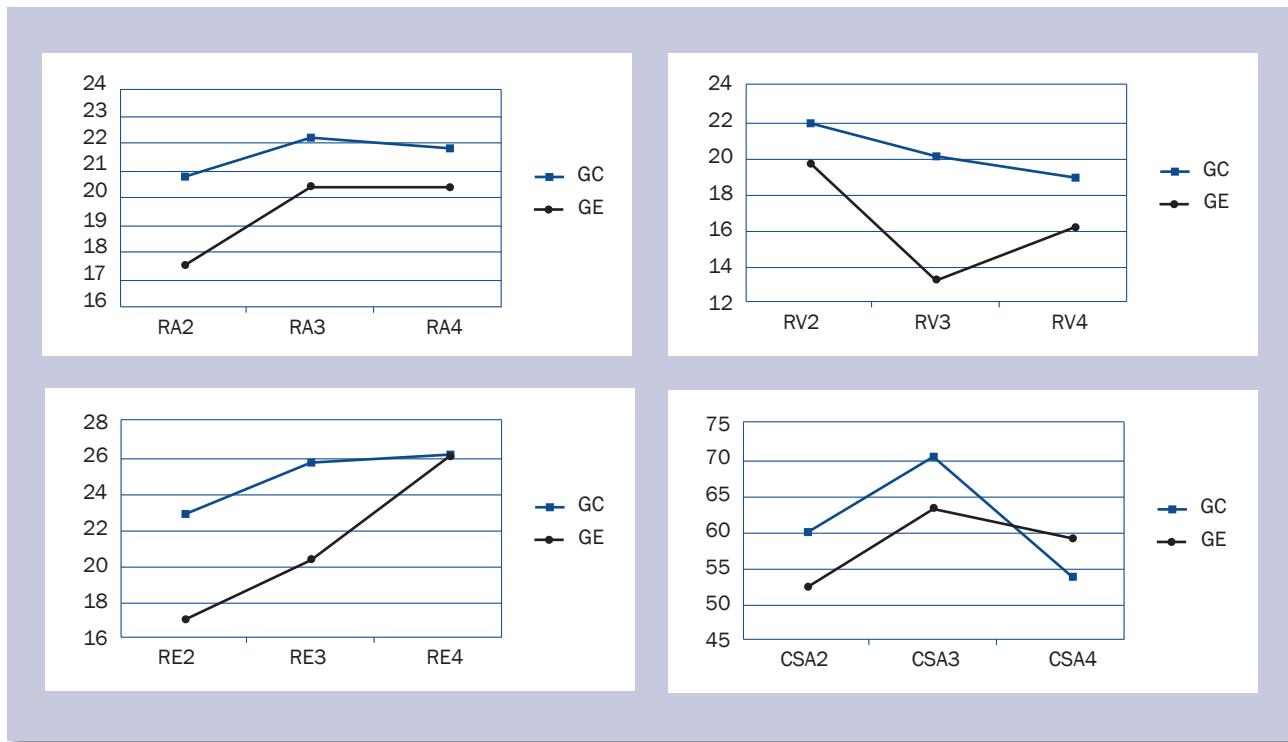
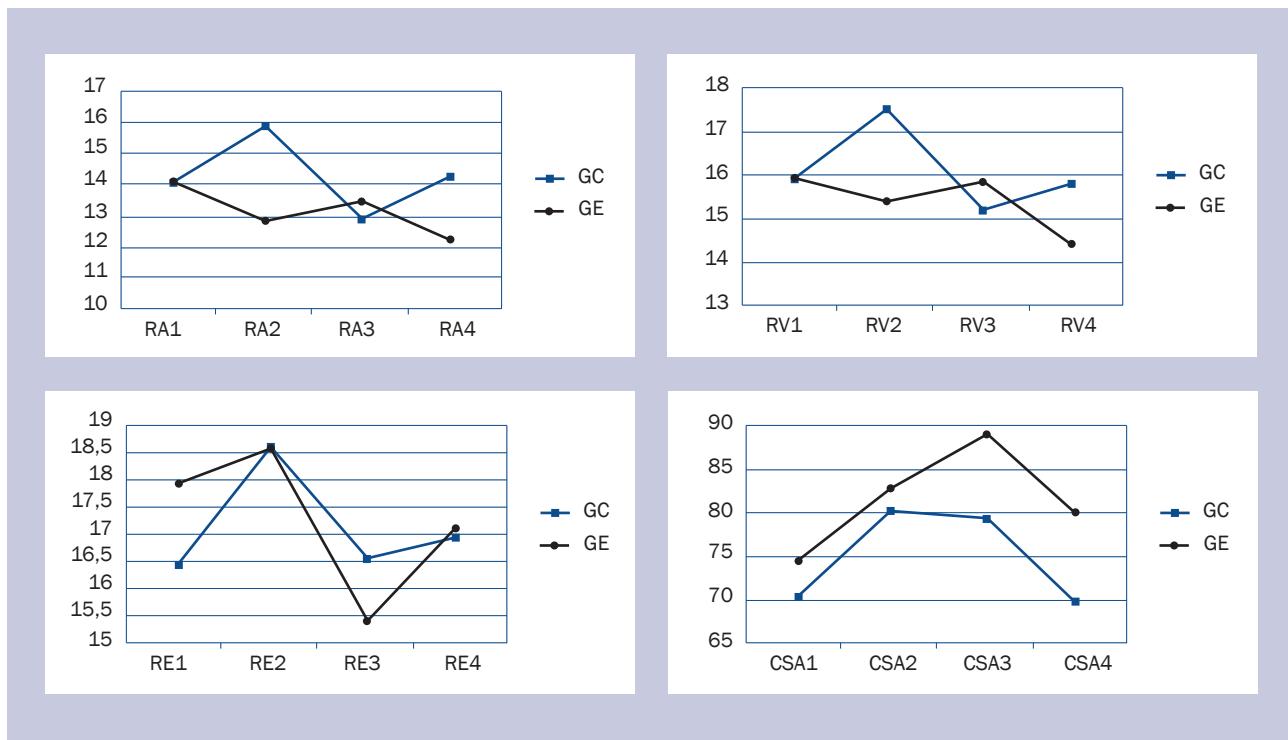
Para el análisis de los datos se utilizaron *pruebas paramétricas* al cumplirse los criterios de *normalidad* de las variables y homocedasticidad (igualdad de varianzas entre grupos para cada variable). Para comparar las diferencias observadas entre los grupos GE y GC en cada uno de los momentos (análisis intergrupales), se utilizó la prueba *t* de Student para dos muestras independientes. El nivel de significación exigido fue de 0,05.

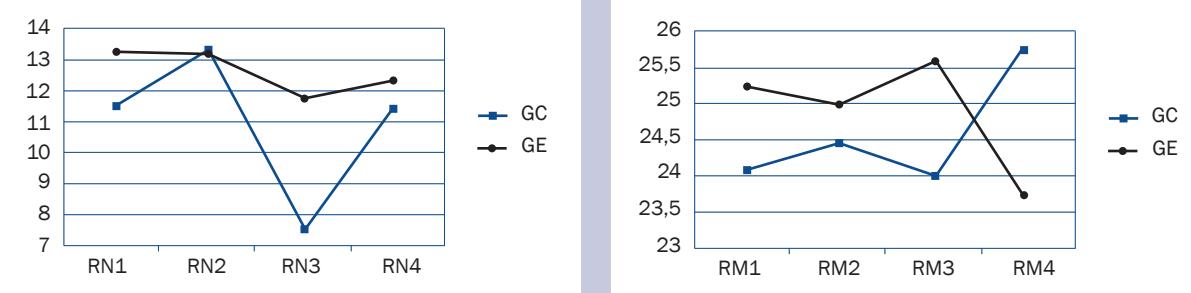
*a) Resultados correspondientes a la expedición Manaslu:*

- Se encontraron diferencias significativas entre los grupos GC y GE en el momento 2 de nuestra investigación (GE en condiciones de hipoxia a 5.800 m) en las pruebas de RV ( $p < 0,045$ ), RA ( $p < 0,002$ ) y RE ( $p < 0,044$ ).
- En el momento 3 (a la semana del regreso), se apreciaron diferencias significativas en las pruebas RV ( $p < 0,008$ ) y RE ( $p < 0,021$ ).
- En el momento 4 (seis meses después del regreso), ya no se observaron diferencias significativas en ninguna de las pruebas.

*b) Resultados correspondientes a la expedición Makalu:*

- En el momento 1 (con anterioridad a la expedición), no se apreciaron diferencias significativas en ninguna de las pruebas.

**Figura 2.** Resultados correspondientes a la expedición Manaslu**Figura 3.** Resultados correspondientes a la expedición Makalu



**Figura 4.** Resultados correspondiente a la expedición Gasherbrum II

- En el momento 2 (GE en condiciones de hipoxia a 6.200 m), aunque estadísticamente no se apreciaron diferencias significativas intergrupos, gráficamente se observan diferencias muy claras GC-GE en la realización de las pruebas RV y RA.
- En el momento 3 (a la semana del regreso), no se apreciaron diferencias significativas en ninguna de las pruebas.
- En el momento 4 (seis meses después del regreso), no se apreciaron diferencias significativas en ninguna de las pruebas.

c) *Resultados correspondientes a la expedición del Gasherbrum II:*

- Estadísticamente no se apreciaron diferencias significativas en los momentos 1 y 2 en ninguna de las pruebas.
- Se encontraron diferencias significativas entre los grupos GC y GE en el momento 3 de la investigación (a la semana del regreso de la expedición) en la prueba de RN ( $p < 0,05$ ).
- En el momento 4 (seis meses después del regreso), no se apreciaron diferencias significativas en ninguna de las pruebas.

## Discusión y conclusiones

Durante la ascensión al Manaslu, se observaron deterioros significativos en las pruebas de RV realizadas por el grupo experimental a 5.800 m de altitud, respecto a las puntuaciones obtenidas por el grupo control. Estos resultados son consistentes con anteriores estudios que han encontrado alteraciones en el lenguaje y la fluidez verbal de los participantes expuestos a condiciones de hipoxia. En concreto, Kennedy et al. (1989) registraron alteraciones significativas en el razonamiento gramatical en unos

participantes expuestos a condiciones simuladas de 8.400 metros. Cavaletti et al. (1987), por su parte, observaron alteraciones en la fluidez verbal de unos participantes después de una expedición al Himalaya que persistió dos meses después. West (1984) y Hornbein et al. (1989) encontraron alteraciones en la producción verbal y un aumento de errores afásicos.

Por otro lado, no se encontraron diferencias intergrupos en la prueba de CSA, resultados que en cierta medida concuerdan con los obtenidos por Abraini et al. (1998) quienes aplicaron unas pruebas de tiempo de reacción visual, habilidad psicomotora y ordenación de números en unos participantes expuestos a altitudes simuladas (cámara hipobárica) por encima de los 6.500 m. En dicha investigación, aunque se evidenció un deterioro significativo en el funcionamiento psicomotor y la eficacia cognitiva de los escaladores en relación con un grupo de control, no se apreciaron, por el contrario, diferencias significativas en las pruebas de tiempos de reacción visual.

Respecto a la investigación Makalu, en la que se aplicó la prueba DAT-5, en sus formas 1 y 2, las diferencias no fueron estadísticamente tan claras como en la expedición anterior, aunque gráficamente sí se observaron diferencias importantes en las pruebas de RV y RA. Las razones pueden ser: por un lado, el hecho de la circunstancia sobrevenida de una reducción en el número de componentes de la expedición, pasando de 7 a 5 participantes, y por otro lado, los altos coeficientes de variabilidad observados en dicho grupo. En concreto, en las pruebas RV y RA realizadas en altitud, se encontraron unos porcentajes de variabilidad elevados (20,7% y 34,6% respectivamente). Estos altos porcentajes, que no se encontraron en las pruebas de la anterior expedición, junto a la mencionada reducción del número de participantes puede provocar que

los p-valores que aparecen en la prueba de contraste  $t$  de Student sean mayores y, por tanto, estadísticamente no podríamos sostener que existan diferencias significativas, aunque en la gráfica sí se aprecien claras diferencias. Esta varianza-error se suele producir cuando dentro de un grupo hay individuos con puntuaciones muy dispares en una determinada variable, siendo esta varianza impredecible por la posible acción de variables desconocidas e imprevistas que pueden constituir fuentes de variación. Otra observación a tener en cuenta es que las puntuaciones en los momentos 3 y 4, lejos de seguir mejorando por un posible efecto de aprendizaje por la práctica, sufren un descenso importante, lo que es comprensible ya que las pruebas aplicadas en esta expedición en los momentos 3 y 4 (DAT-5 forma 2) son de mayor nivel de dificultad que las aplicadas en los dos primeros momentos (DAT-5 forma 1).

Finalmente, y tal como ocurrió en la investigación del Manaslu, no se observaron diferencias significativas intergrupales en la prueba CSA, lo que da a entender que en este caso tampoco se evidenciaron problemas perceptivos en los participantes.

Para no repetir las mismas pruebas que en las dos expediciones anteriores (RA, RV, RE y CSA) y evitar que una repetición frecuente pueda distorsionar los resultados, con ocasión de la expedición al Gasherbrum II creímos oportuno ampliar el estudio con dos nuevas pruebas: una de RM y otra de RN, ambas contenidas en el DAT-5. La razón de incluir la primera de ellas fue debido a que frecuentemente las acciones que realizan los montañeros exigen habilidades cognitivas de tipo mecánico (acciones de aseguramiento en la pared con poleas y anclajes, tendido de pasarelas, equipamiento de vías, etc.). Igualmente se incorporó una prueba de RN porque, aun no siendo una habilidad de aplicabilidad a la vida y movimiento en montaña, en cambio nos podía dar más pistas sobre un posible deterioro en las habilidades del pensamiento de los participantes, al utilizar procesos cognitivos comunes a otros tipos de razonamiento.

Tras el análisis de los resultados de la prueba de Razonamiento Numérico (RN), no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los momentos de registro. De todas maneras, es interesante observar en la gráfica de la prueba de razonamiento numérico como el grupo de control mejora claramente su puntuación en el momento 2 (debido al efecto de aprendizaje por la práctica); sin embargo, el grupo experimental (que por esta misma razón debería mantener la misma tendencia), tras realizar la prueba en altitud, su puntuación no mejora en absoluto, esto es debido a los efectos de la hipoxia.

En cuanto al razonamiento mecánico (RM), los resultados no mostraron diferencias significativas en ninguno de los cuatro momentos de medición. De cualquier modo, hay que observar gráficamente que en los tres primeros momentos de medición, el grupo experimental obtiene mejores medias que el grupo de control, debido posiblemente a diferencias en cuanto al nivel inicial de destreza en este tipo de razonamiento. Pero lo interesante es observar que en el momento en que el grupo experimental realiza la prueba RM en altitud (momento 2), estas diferencias se reducen de manera evidente, debido a los efectos negativos de la exposición a la altitud del grupo experimental en el momento de realizar dicha prueba.

Nuestros resultados no se han podido comparar con los obtenidos por otras autorías, ya que se desconocen hasta la fecha investigaciones anteriores que hayan estudiado estos dos tipos de aptitudes mentales (RN y RM).

Con los resultados de nuestra investigación, queremos dejar abierta la posibilidad a otros estudios similares al nuestro que permitan comprobar posibles coincidencias, siendo deseable la posibilidad de medir en varios momentos, administrar pruebas en altitudes extremas (por encima de 5.500 m) y contar con un grupo de control, tal y como lo hemos planteado. Sería, igualmente interesante, realizar estudios complementarios al nuestro que pudieran evaluar el posible deterioro de otras habilidades del pensamiento, tales como las habilidades metacognitivas o las divergentes. Finalmente, convendría analizar cómo procesamos individualmente la información en altitud (velocidad del procesamiento de la información, tiempos de reacción, procesos de memoria, percepción y atención, flexibilidad cognitiva, etc.), ya que muchas de las situaciones de riesgo en altura exigen análisis y respuestas rápidas y acertadas de afrontamiento para asegurar la supervivencia en un ambiente tan hostil como es la alta montaña. Posiblemente la dificultad de realizar este tipo de estudios en altitud real impida que puedan ver la luz muchas investigaciones de este tipo, salvo que se utilicen situaciones simuladas en cámaras hipobáricas.

El hombre y la montaña han establecido una relación muy especial desde el comienzo de la humanidad. De los muchos y bellos relatos de los montañeros, sabemos que la montaña cautiva y fascina a cuantos se mueven por ella y se atreven a descubrirla, pero a veces nos da zarpazos que hieren o matan para decírnos que para adentrarnos en sus dominios, debemos tratar de conocerla más en profundidad. Esperamos que la investigación que planteamos, así como las sugeridas, puedan contribuir a una mejor comprensión de las causas del alto número

de accidentes y muertes que cada año se pierden en las montañas de nuestro planeta.

## Agradecimientos

Esta investigación se ha llevado a cabo gracias a la contribución de los programas nacionales I+D+i, contemplados en el Plan nacional de investigación científica. Especialmente agradecemos su colaboración a la Escuela Militar de Montaña y Operaciones Especiales y al Grupo Militar de Alta Montaña de Jaca (Huesca) por su colaboración, y a todas las personas que participaron en la investigación por su excelente predisposición y entusiasmo.

## Conflicto de intereses

Ninguno.

## Referencias

- Abraini, J. H., Bouquet, C., Joulia, F., Nicolas, M., & Kriem, B. (1998). Cognitive performance during a simulated climb of Mount Everest: Implications of brain function and central adaptive processes under chronic hypoxia stress. *European Journal Physiology*, 436(4), 553-559. doi:10.1007/s004240050671
- Aceña, J., Allueva, P., Ayora, A., Palop, J., & Ruiz, C. (2015, noviembre). *Cómo afecta a la memoria la exposición a altitudes extremas, sin aporte de oxígeno suplementario*. III Congreso Nacional I+D en Defensa y Seguridad. Marín (Pontevedra).
- Allueva, P., Garrido, E., Aceña, J., Palop, J., & Morandeira, J. R. (2006). Evaluación cognitiva tras un test de hipoxia normobárica en alpinistas no aclimatados. *Actas de la XVI Jornadas de medicina y socorro en montaña*. Valencia.
- Allueva, P., Palop, J., Aceña, J., Ayora, A., & Morandeira, J. R. (2004). Deterioro neurocognitivo en altitudes extremas y su relación con hallazgos patológicos en pruebas de diagnóstico por imagen. *Actas de la XVI Jornadas de medicina y socorro en montaña*. Valencia.
- Allueva, P., Garrido, E., Javierre, C., Palop, J., & Aceña, J. (2016). Acute mountain sickness susceptibility and basic cognitive function after a brief simulated altitude of 4800 m. *Revista Iberoamericana de Psicología del Ejercicio y del Deporte*, 1(2), 221-228.
- Bennett, G. K., Seashore, H. G., & Wesman, A. G. (1995). DAT. *Tests de aptitudes diferenciales, Manual*. Madrid: TEA ediciones (adaptación española del original *Differential Aptitude Tests, Manual; fourth edition*. New York: The psychological corporation, 1966).
- Bennett, G. K., Seashore, H. G., & Wesman, A. G. (2000). DAT-5. *Tests de aptitudes diferenciales, Manual*. Madrid: TEA ediciones (adaptación española del original *Differential Aptitude Tests, Manual; fifth edition*. New York: The psychological corporation, 1974).
- Bert, B. (1978). *La Pression Barométrique*. Paris: Masson et Cie.
- Bonnon, M., Nöel-Jorand, M. C., & Therme, P. (1995). Psychological changes during altitude hypoxia. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 66, 330-335.
- Bonnon, M., Nöel-Jorand, M. C., & Therme, P. (2000). Effect of different stay duration in attentional performance during two mountain expeditions. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 71(7), 678-684.
- Cachán, R. (2014). Cultura de resistencia: un estudio antropológico. *Apunts. Educación Física y Deportes* (115), 33-36. doi:10.5672/apunts.2014-0983.es.(2014/1).115.02
- Cavaletti, G., Moroni, R., Garavaglia, P., & Tredici, G. (1987). Brain damage after high-altitude climbs without oxygen. *Lancet*, 329(8524), 101. doi:10.1016/S0140-6736(87)91935-0
- Clark, C. F., Heaton, R. K., & Wiens, A. N. (1983). Neuropsychological functioning after prolonged high altitude exposure in mountaineering. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 54(3), 202-207.
- De Acosta, J. (1590). *Historia natural y moral de las indias, Libro III*. Sevilla: Juan de León.
- Garrido, E. (1998). Un problema de altura. *Medicina Clínica*, 110(12), 455-456.
- Hornbein, T. F. (1992). Long term effects of high altitude on brain function. *International Journal of Sports and Medicine*, 13, S43-S45. doi:10.1055/s-2007-1024589
- Hornbein, T. F., Townes, B. D., Shoene, R. B., Sutton, J. R., & Houston, C. S. (1989). The cost to the central nervous system of climbing to high extremely altitude. *The New England Journal of Medicine*, 321(25), 1714-1719. doi:10.1056/NEJM198912213212505
- Janowsky, J. S., Shimamura, A. P., & Squire, L. R. (1989). Memory and metamemory: comparisons between patients with frontal lobe lesions and amnesic patients. *Psychobiology*, 17(1), 3-11.
- Kennedy, R. S., Dunlap, W. P., Banderet, L. E., Smith, M. G., & Houston, C. S. (1989). Cognitive performance deficits in a simulated climb of Mount Everest: Operation Everest II. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 60(2), 99-104.
- Koller, E. A., Bischoff, M., Bhrer, A., Felder, L., & Schopen, M. (1991). Respiratory, circulatory and neuropsychological responses to acute hypoxia in acclimatized and non-acclimatized subjects. *European Journal of Applied Psychology*, 62(2), 67-72.
- Lieberman, P., Protopapas, A., & Kaniki, B. G. (1995). Speech production and cognitive deficit in Mount Everest. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 66(9), 857-864.
- Mackintosh, J. H., Thomas, D. J., Olive, J. E., Chesner, I. M., & Knight, R. (1988). The effect of altitude on tests of reaction time and alertness. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 59(3), 246-248.
- Milledge, J. S. (2002). Altitude deterioration. En G. Viscor, A. Ricart & C. Leal (Eds.), *Proceedings of the Fifth World Congress on Mountain Medicine and High Altitude Physiology* (pp. 173-180). Spain.
- Regard, M., Oelz, O., Brugger, P., & Landis, T. (1989). Persistent cognitive impairment in climbers after repeated exposure to extreme altitude. *Neurology*, 39(2), 210-213. doi:10.1212/WNL.39.2.210
- Richalet, J. P., Keromes, A., Dersch, B., Corizzi, F., Mehdioui, H., Pophillat, ... Darnaud, B. (1988). Caractéristiques physiologiques des alpinistes de haute altitude. *SCI Sports*, 3(2), 89-108. doi:10.1016/S0765-1597(88)80002-9
- Richalet, J. P., & Herrry, J. P. (2006). *Médecine de l'alpinisme et des sports de montagne* (4.ª ed.). Paris: Masson.
- Ryn, Z. (1988). Psychopathology in mountaineering: Mental disturbance under high-altitude stress. *International Journal of Sports Medicine*, 9(2), 163-169. doi:10.1055/s-2007-1024998
- Shukitt-Hale, B., Stillmann, M. J., Welch, D. I., Levy, A., Devine, J. A. & Lieberman, H. R. (1994). Hypobaric hypoxia impairs spatial memory in an elevation-dependent fashion. *Behavioral and Neural Biology*, 62(3), 244-253. doi:10.1016/S0163-1047(05)80023-8
- Thurstone, L. L. (1969). *Primary Mental Abilities*. Chicago: Chicago University Press.
- Townes, B. D., Horbein, T. F., & Schoene, R. B. (1993, marzo). Deterioro neurocognitivo en altitud extrema. Comunicación presentada a las XI Jornadas de Medicina y Socorro de la Federación Española de Deportes de Montaña y Escalada. Belagoa (Pamplona).
- Townes, B., Hornbein, T., Schoene, R., Sarnquist, F., & Grant, I. (1984). Human cerebral function at extreme altitude. En J. B. West & S. Lahiri (Eds.), *High Altitude and Man* (pp. 31-36). Bethesda, D. C: American Physiological Society. doi:10.1007/978-1-4614-7525-4
- Virués-Ortega, J., Segui, D., & Buela-Casal, G. (2002). Possible dissociation between attention and memory impairments related to moderate high altitude. *High Altitude Medicine and Biology*, 3, S35.
- Ward, M. P., Milledge, J. S., & West, J. B. (2000). *High altitude, medicine and physiology* (3.ª ed.). Arnold.
- West, J. B. (1986). Do climbs to extreme altitude cause brain damage. *Lancet*, 16(2), 387-388. doi:10.1016/S0140-6736(86)90066-8