

Los riesgos de la altitud y su prevención

Manuel Bernaola Alonso

Centro Nacional de Nuevas Tecnologías. INSHT

José Antonio Ponce Molet

Instituto de Seguridad y Salud Laboral (ISSL). Murcia

Al aumentar la altitud, la presión atmosférica y la presión parcial de oxígeno disminuyen, con el consiguiente riesgo de hipoxia cuyas consecuencias pueden producir alteraciones del sueño, vértigo, reducción en la actividad física y problemas cardiovasculares. A una altitud de 2400 m la presión parcial del oxígeno, que a nivel del mar es de 0,21 bar, se reduce a 0,16 bar, lo que corresponde a un 16% de oxígeno, alcanzando su valor límite mínimo respirable. No obstante, hay personas aclimatadas y preparadas que alcanzan hasta los 8000 metros sin necesitar suministro de oxígeno.

Hay trabajos que se desarrollan en altitud, tales como: explotación y mantenimiento de remontes mecánicos, mantenimiento de estaciones de deporte de invierno, guía de alta montaña, construcción y obras públicas, estaciones de meteorología, aduanas, socorristas, investigadores...

Se puede detectar la intolerancia a la altura mediante reconocimientos médicos previos y la anamnesis correspondiente, comprobando los test de respuesta ventilatoria y cardiaca a la hipoxia. Las formas de combatirla pueden ser: aclimatación a la altura, estrategias de ascenso y descenso; entrenamiento físico; ciertos medicamentos preventivos; modificación artificial del medio ambiente.

1. La altitud

Al aumentar la altura, la presión atmosférica, y como consecuencia la pre-

sión parcial de oxígeno, disminuye con el consiguiente riesgo de hipoxia. Aunque el aire tenga la misma composición que a nivel del mar, se respira menos oxígeno y, así, a los 3600 metros se reduce hasta un 60%, es decir, pasa del 20,9% a tan solo el 12,6%. Por otro lado, la temperatura desciende a razón de unos 7° C por cada 1000 metros de ascensión. Además, la hipoxia o falta de oxígeno provocada por la altitud disminuye la eficacia de los medios fisiológicos de lucha contra el frío.

Las personas consideradas sensibles pueden manifestar algún síntoma a partir de los 2500 metros. Además, en altitud se puede estar expuesto a frío, humedad y radiación solar, en particular radiación UV (1).

En la tabla 1 se reflejan las variaciones de presión y temperatura con la altitud.

Las altitudes se suelen clasificar según aumenta el nivel de riesgo en tres niveles:

- Altitud **alta**: de 1500 a 3500 metros.
- Altitud **muy alta**: de 3500 a 5500 metros.
- Altitud **extrema**: superior a 5500 metros (no se da en Europa).

Con la altitud, la hemoglobina que transporta el oxígeno en la sangre tiene una menor afinidad por este, lo que origina un incremento de la ventilación pulmonar y del gasto cardiaco y se aumentan la frecuencia (hasta 6 y 7 veces con el esfuerzo) y la presión arterial (180 - 200 mm en su componente sistólica). La compensación fisiológica por el organismo hasta los 7000 metros es casi total si hay aporte de oxígeno. A alturas superiores, hasta los 15000 metros, la com-

pensación es incompleta y se presentan problemas de hipoxia y de gases ocluidos en cavidades corporales cerradas o semi-cerradas, por lo que hay que usar cabinas presurizadas en las aeronaves y, a las alturas aún mayores, trajes de presión (2) (3).

Los sherpas del Valle de Khumbu (Nepal), parque natural que rodea al Everest, llevan generaciones viviendo en las alturas, por lo que han desarrollado una tolerancia natural genética a la altitud. Durante las expediciones realizan tareas de transporte, acondicionamiento, mantenimiento y limpieza y se les facilita material y ropa de ascensión. No obstante, a los 8000 metros necesitan aporte de oxígeno.

A la enfermedad aguda de altura, como mal menos grave, le pueden seguir dos complicaciones que son el edema pulmonar y el edema cerebral (la presión reducida del aire produce escape de líquidos capilares del cuerpo que se acumulan en el cerebro o pulmón). Además, la altitud puede agravar enfermedades subyacentes, en particular las enfermedades cardiorrespiratorias.

Estas afecciones tienen más riesgo de ocurrir cuanto más rápido es el ascenso. Al hablar de altitudes extremas, con la aclimatación el individuo logra una mejor adaptación a la hipoxia. Los tiempos de aclimatación van desde una semana a los 2000 m, a más de una semana por cada nivel adicional de 700 m.

El principio preventivo es el de la ascensión progresiva, evitando progresiones rápidas a altitudes superiores a los 3000 metros, pasando de dos a tres noches a una altitud intermedia entre 2500 y 3000 metros antes de seguir la



■ **Tabla 1** ■ Variaciones de la presión y temperatura con la altitud

Altitud (m)	Presión (%)	Temperatura (°C)
Nivel del mar	100	15
1000	95	12,4
2000	78	2
3000	69	-4,5
4000	61	-11
5000	53	-17,5

■ **Tabla 2** ■ Presión del oxígeno en el aire y alveolar, según altitud

Altitud (metros)	pO ₂ (mm Hg.) aire	pO ₂ (mm Hg.) alveolar*	% saturación O ₂ arterial
0	159	104	97
3000	110	67	90
9000	47	21	20
15000	29	8	5

* Es menor que en el aire al estar saturado de vapor de agua.

ascensión. Para excursiones de un día de ascensión, es decir ida y vuelta en el día, no se requiere la aclimatación. El ejercicio moderado favorece la aclimatación pero se debe evitar el ejercicio intenso, en particular los dos primeros días de la ascensión. En cualquier situación extrema

de ascensión es necesario contar con los medios de socorrismo adecuados para actuar en caso de una evacuación de emergencia.

En la tabla 2 se indican, según la altitud, las presiones parciales de oxígeno en

el aire y zona alveolar, así como el porcentaje de saturación de oxígeno arterial.

Las aeronaves comerciales, que alcanzan una altitud de crucero de 8000-10000 metros, van presurizadas a altitudes equivalentes a los 3000 metros, de forma que el vuelo para el pasajero sea confortable y exento de riesgos. No obstante, ciertas personas con problemas cardiorrespiratorios y en vuelos largos pueden presentar problemas por un grado limitado de oxigenación tisular (4).

2. Enfermedades relacionadas con la altitud

La mayoría de la gente soporta bien altitudes de hasta 2500 metros, donde la presión barométrica es equivalente a la que se presurizan las cabinas de los aviones. Sin embargo, ya a los 1500 metros se puede notar cierta disnea con el ejercicio que, de noche, puede empeorar. A partir de los 2500 metros, los síntomas de la enfermedad de altitud son más frecuentes (2).

- La respiración aumenta y disminuye de forma periódica (3 o 4 veces por minuto) con el descenso de la presión parcial de oxígeno tras los periodos de apnea y reducción de la ventilación.
- El bajo porcentaje de oxígeno transportado por la hemoglobina de la sangre hace aumentar el recuento eritrocitario.

Las personas que presenten enfermedad pulmonar obstructiva cró-



El RD 1299/2006 que incluye el Cuadro de Enfermedades Profesionales, cita en el Anexo 1, Grupo 2, Agente H, Subagente 01 Enfermedades provocadas por compresión o descompresión atmosférica, como actividad 03 y código 2H 0103 "Deficiencia mantenida de los sistemas de presurización durante vuelos de gran altitud".

Pasados unos días en altura los síntomas que pueden aparecer, entre otros, son:

- La fatiga aparece con mayor facilidad y la capacidad de trabajo disminuye.
- La calidad del sueño empeora.

nica o asma no pueden realizar actividades en altura ya que se requiere una ventilación elevada con la consiguiente sobrecarga de los sistemas cardiovascular y cardiorrespiratorio. También se debe excluir a personas con problemas previos de comportamiento, dado que la altitud aumenta el estrés psicológico.

Aunque el mejor indicador de la tolerancia y el posible rendimiento con la altitud es probablemente la experiencia previa del individuo, existen otros índices fisiológicos como son:

- el aumento de la respuesta ventilatoria a la hipoxia,
- el aumento de la frecuencia cardiaca a la hipoxia aguda,
- el grado de actividad física en condiciones de hipoxia a nivel del mar o
- el aumento de la presión arterial con la altitud.

El término “enfermedad de altitud” se utiliza para describir cualquier enfermedad relacionada con la altura. Se pueden considerar tres formas de enfermedad de altitud durante la ascensión:

- Mal Agudo de Montaña (MAM o “Soroche”)
- Edema Pulmonar de Altitud (EPA)
- Edema Cerebral de Altitud (ECA)

El **Mal de montaña crónico** es una enfermedad que se desarrolla en individuos que viven durante periodos prolongados en sitios de una altitud elevada. También se conoce como ‘**Enfermedad de Monge**’, ya que la misma fue descrita por primera vez por Carlos Monge en 1925. Mientras que el mal de montaña se sufre poco tiempo después de haber ascendido a una región de elevada altitud, el “mal de montaña crónico” se puede desarrollar después de vivir varios años en zonas de elevada altitud, a partir de 3000 metros.

El Mal de montaña es la enfermedad más común en la altitud, llamada “soroche” en Sudamérica, y mucha gente la

experimenta. Los síntomas generales son: dolor de cabeza y náuseas con ganas de vomitar, letargo, vértigos y dificultad para dormir. Los síntomas son similares a una resaca y el diagnóstico es fácil cuando hay dolor de cabeza por encima de 2500 metros. En ocasiones, si los síntomas progresan, puede ser peligroso si se llegase a producir un edema cerebral (ECA).

El **Edema agudo pulmonar de altitud** (EPA) es una forma o evolución maligna del mal de montaña, que se presenta en sujetos expuestos a hipoxia (disminución de oxígeno en la sangre) debida a la altura y consiste en un filtrado de líquido en las paredes de los alvéolos, restringiendo el intercambio de oxígeno. Los síntomas son: dificultad para respirar (disnea), tos (que puede ir acompañada de secreciones espumosas y sonrosadas), respiración crepitante o “burbujeante” y dolor torácico. A veces también puede aparecer febrícula y alteración de los niveles de consciencia. Las características principales son:

- que puede ser fatal y afecta también a los jóvenes sanos,
- la gran susceptibilidad individual y
- que remite rápido con tratamiento.

Su aparición es súbita y si no se trata enseguida se pierde la consciencia y se produce la muerte. Hay que descender inmediatamente a la cota más baja posible (mínimo entre 300 y 500 m) y administrar oxígeno. Si no mejora, hay que evacuar a un hospital.

El **Edema Cerebral de Altitud** (ECA) o de **gran altitud** es una alteración o disfunción muy grave del sistema nervioso central, con riesgo para la vida, que puede presentarse en sujetos expuestos a la hipoxia de altitud. La causa de esta

manifestación clínica es la presencia de edema en el tejido cerebral. Los síntomas pueden ser: dolor de cabeza, pérdida de coordinación (ataxia), debilidad y pérdida de los niveles de consciencia, incluso desorientación, pérdida de memoria, alucinaciones, comportamiento sicótico y coma. El tratamiento es el mismo que para el EPA y, tras sufrir un EPA o ECA, se debe reposar durante unas semanas a baja altura.

En resumen, se puede concluir que:

- a. Existe una susceptibilidad individual al MAM.
- b. La velocidad de ascenso es un factor crucial.
- c. Existen algunos parámetros fisiológicos relevantes para el MAM.
- d. Las pruebas realizadas en reposo no tienen valor predictivo.
- e. La evaluación en ejercicio y en hipoxia es esencial para predecir la susceptibilidad al MAM.

Algunos factores psicológicos (ansiedad,...) pueden también ser importantes.

Fisiología humana ante la falta de oxígeno

Se define la hipoxia como un estado en el cual existe un déficit de oxígeno en la sangre, células y tejidos del organismo, que conduce a una situación en la que no se realizan normalmente las funciones orgánicas

La falta de oxígeno puede tener varias consecuencias:

- 1.- El corazón y los pulmones trabajan con mayor fuerza y aceleramiento

Tabla 3 ■ Escala de bajas temperaturas,

Temperatura °C	Ejemplo
+ 2 a 12 °C	Almacenamiento, preparación y transporte de alimentos frescos
-10 a 0 °C	Media de temperatura en Europa en el mes de enero
- 28°	Almacenamiento de productos congelados
- 40°	Media de temperatura en el Polo Sur
- 55°	Almacenamiento de pescado congelado
- 90°	Temperatura extrema en el Polo Sur

para compensar la bajada de oxígeno. En algunos casos, la persona puede no resistir ni tolerar el trabajo de sus órganos vitales y su salud se complica de forma brusca.

- 2.- Si la compensación no es adecuada, algunas personas corren el riesgo de sufrir alteraciones graves en las primeras horas de exposición a la altura, que afectan severamente los pulmones o el cerebro. Estas complicaciones, una llamada Edema Agudo de Pulmón y la otra, Edema Agudo Cerebral, pueden causar la muerte rápida, aunque no suelen ser frecuentes.
- 3.- La capacidad de trabajo y el funcionamiento general se deterioran con mucha rapidez por la falta de oxígeno. Si la persona camina, su cuerpo no soporta andar mucho sin descanso; si intenta correr, el agotamiento llega muy rápido.
- 4.- El funcionamiento mental también se ve afectado rápidamente; falla la memoria, la capacidad de atención y se produce dolor de cabeza.
- 5.- El sueño se altera, especialmente para las personas que roncan, que duermen menos horas, se despiertan muchas veces en la noche y al levantarse tienen la sensación de no haber descansado.
- 6.- Después de un tiempo de permanencia en altura, el cuerpo se comienza a acostumbrar y los problemas iniciales se suavizan y se logra a

costa de compensaciones en la sangre y en el corazón que, cuando son excesivas e inadecuadas, también pueden ser peligrosas para la salud.

Efectos del frío en el hombre y los riesgos para la salud

La temperatura del aire disminuye con la altura, a razón de 1 grado por cada 100 metros. Así, si a 2000 metros hay 20° C, a 3500 metros la temperatura puede ser de unos 5° C, aunque haya sol y las condiciones atmosféricas sean parecidas.

El problema se agrava, evidentemente, en invierno y en las noches, cuando es habitual encontrar temperaturas bajo cero grados. Si, además, corre viento a velocidad moderada, como es frecuente en zonas montañosas, la temperatura efectiva sobre el cuerpo es aún más baja.

El frío afecta a la capacidad de trabajo y en algunos casos impide la actividad. Además, el cuerpo debe producir mayores cantidades de calor, sobrecargando el aparato cardiovascular, ya ocupado en compensar la falta de oxígeno y consumiendo al mismo tiempo mayores cantidades de oxígeno para producir energía.

Trabajar en un ambiente frío puede ser peligroso para la salud e incluso mortal. Las dos principales patologías ligadas a la exposición directa al frío son la hipotermia y la congelación, aunque también pueden aparecer otro tipo de efectos.

El citado RD 1299/2006 refiere en el Anexo 2 Grupo 2 Enfermedades provocadas por agentes físicos como agente

O2 y código C202 "Enfermedades provocadas por el frío".

Mecanismos de la congelación

Las congelaciones están muy relacionadas con la altura, no sólo porque a mayor altitud el aire es más frío (a razón de unos de 6,5 ° C/km), sino también porque, al faltar oxígeno, el cuerpo es más propenso a sufrir congelaciones.

La temperatura corporal está regulada por el sistema nervioso central y en ambiente neutro se mantiene en unos 37° C. El cuerpo dispone de mecanismos para adaptarse mejor a condiciones climatológicas adversas (bajas temperaturas, viento y precipitaciones en forma de agua o nieve). Los receptores térmicos a nivel de la piel en contacto con el frío producen una vasoconstricción cutánea refleja para conservar el grado de calor interno. Tiritar también es una reacción refleja que provoca una reducción de la superficie de radiación de calor y al tiempo genera calor internamente. El cuerpo compensa la pérdida de calor mediante procesos metabólicos complejos al transformar los alimentos en calor.

La hipotermia se caracteriza por una caída de la temperatura interna por debajo de los 35° C con la aparición de temblores. Es consecuencia de un fallo en los mecanismos de termo-regulación en el intercambio térmico. Es una de las causas principales de mortalidad en las personas expuestas al frío directo. La hipotermia es una emergencia y se deben conocer las señales de alerta que la manifiestan para proceder a actuar de inmediato.

Los sabañones, como primer grado de congelación, y las congelaciones son lesiones cutáneas asociadas a la exposición al frío. Ciertos individuos son más sensibles (trastornos vaso-motrices de las extremidades) y las lesiones pueden ser

más o menos intensas y dependerán del nivel de exposición al frío. Las lesiones graves se manifiestan como quemaduras importantes. Hay congelaciones más graves que pueden ser muy dolorosas y con secuelas permanentes (necrosis profundas del tejido tras exposiciones prolongadas a temperaturas muy bajas).

A modo orientativo, la tabla 3 da una escala de bajas temperaturas con ejemplos de situaciones en las que se pueden dar.

La **congelación** es la condición médica donde la piel y otros tejidos son dañados a causa de frío extremo. Por debajo de 0° C los vasos sanguíneos comienzan a contraerse, lo que ayuda a preservar la temperatura corporal. En frío extremo o cuando el cuerpo está expuesto al frío por periodos largos, esta estrategia protectora puede reducir el flujo sanguíneo en algunas áreas del cuerpo a niveles peligrosamente bajos. Las áreas en las que esto ocurre se congelarán. La combinación de frías temperaturas y viento y el bajo flujo sanguíneo puede causar lesiones severas en los tejidos por congelación.

Las montañas o grandes altitudes con nieve son las más peligrosas para causar congelaciones. Si el congelamiento no se trata inmediatamente, los daños serán permanentes. Los daños en los nervios ocurren porque el oxígeno no llega a la zona, que se volverá descolorida, primero de color púrpura y luego negra. Si el daño nervioso progresa, las áreas afectadas por el congelamiento se adormecerán. También pueden aparecer ampollas. Si se pierde la sensibilidad en la zona dañada, es vital revisarla por si hay cortes ya que la piel abierta puede infectarse, puede aparecer gangrena y ser necesaria la amputación del miembro.

Ya se ha comentado, las congelaciones son un mecanismo que el cuerpo



utiliza como defensa para prevenir una hipotermia, y para tratar de mantener constante su temperatura interna restringiendo la circulación sanguínea en las extremidades. Una característica de las congelaciones es que no producen dolor y, por tanto, no son perceptibles.

Es posible que distintas zonas presenten distintos grados de congelación y se pueden dar de tres tipos:

- 1º) Enrojecimiento, inflamación y pérdida de la sensibilidad, que mejoran al cabo de unos días.
- 2º) Ampollas de color claro o sangrantes (más graves). Cicatrizan al cabo de unas semanas o ennegrecen y caen. Tardan varios meses en curar.
- 3º) No se forman ampollas, los dedos quedan fríos, inertes y negros (necrosis). Tarde o temprano requerirá amputación.

Evaluación de la exposición al frío y su control preventivo

Si la exposición al frío es prolongada o se da la inmersión en agua fría, hay

riesgo de hipotermia y hay que proteger el cuerpo.

- Procurar ropa aislante seca a los trabajadores. Cuanto mayor sea la velocidad del viento y más baja la temperatura, aumenta peligrosamente el riesgo de hipotermia y de congelación. Los primeros signos de hipotermia aparecen en piernas, manos y cabeza de forma que los trabajadores de más edad o con trastornos circulatorios son individuos de una especial sensibilidad.
- La piel no debe estar expuesta de forma continua a una temperatura equivalente de enfriamiento (como combinación de velocidad del viento y temperatura del aire) de -32° C. La congelación superficial o profunda de tejidos locales se produce por debajo de -1° C, con independencia de la velocidad del viento.
- A temperaturas inferiores a 2° C y si los trabajadores están sumergidos en agua o con la ropa mojada, es imprescindible cambiarse de ropa de inmediato y vigilar el riesgo de hipotermia.

- A partir de una tabla que proporcione el poder de enfriamiento del viento sobre el cuerpo expuesto expresado como temperatura equivalente (en condiciones de calma) se pueden decidir las recomendaciones a aplicar, según los casos, para prevenir los riesgos asociados a la actividad. En los TLVs de la ACGIH se da en una tabla, según las características de exposición, el plan de trabajo /calentamiento para un turno de cuatro horas (5).

3. Paracaidismo militar y civil

HALO (Gran altitud - Baja apertura) y **HAHO** (Gran altitud - Alta apertura) son dos términos en inglés usados por las fuerzas armadas para describir un método de transportar personal, equipo y suministros desde un transporte aéreo a gran altitud mediante un salto en caída libre en paracaídas.

La principal diferencia entre ambas técnicas es que en HALO el paracaidista abre el paracaídas a baja altitud, tras un tiempo de caída libre, mientras que en HAHO el paracaidista abre el paracaídas a alta altitud, unos segundos después de saltar del avión.

En condiciones normales, el avión vuela a una altitud de aproximadamente 8000 metros. La técnica HAHO se usa para transportar equipamiento, suminis-

tros, y personal, mientras que la técnica HALO generalmente se usa sólo para personal.

En un ejercicio HALO común, el paracaidista saltará de la nave, caerá durante un largo período de tiempo y abrirá su paracaídas a baja altitud.

Para descarga de objetos, la carga es expulsada del avión con un paracaídas estabilizador. La carga cae hasta una baja altitud y entonces un segundo paracaídas se abre, para permitir un aterrizaje a baja velocidad. El personal militar se moverá entonces al punto donde haya caído la carga para asegurarla, desempaquetarla o lo que corresponda.

En un ejercicio HAHO común, el paracaidista salta de la nave y acciona su paracaídas a alta altitud, aproximadamente 10 o 15 segundos tras saltar (lo que supone estar a unos 8000 metros de altura). El saltador usa una brújula para guiarse mientras vuela una larga distancia. Se debe observar en el terreno y sus puntos de referencia para navegar a la zona de aterrizaje deseada, y por el camino, corregir su rumbo debido a cambios en la dirección y velocidad del viento.

La técnica HAHO también se usa para desplegar equipos militares. El equipo salta de la nave y forma mientras descienden con sus paracaídas. Gene-

ralmente, el saltador en la posición más baja actúa de guía y dirige a sus compañeros.

El equipamiento habitual que se utiliza incorpora un sistema automático de apertura de paracaídas que analiza la presión del aire y da una aproximación de la altitud del paracaidista. Si es menor que la altitud programada (unos 250 metros) y el paracaidista aún no ha abierto su paracaídas, el sistema abrirá el paracaídas de emergencia.

Riesgos para la salud

A alta altitud en la atmósfera las cantidades de oxígeno disponibles para respirar descienden considerablemente. En la mayoría de saltos HALO se hará necesario el uso de una máscara de oxígeno, debido a que el paracaidista saltará desde altitudes cercanas a los 8000 metros. Esta técnica es peligrosa para la salud, debido a que la falta de oxígeno puede producir hipoxia y causar pérdida de la consciencia, lo que sitúa al paracaidista en una situación de alto riesgo, ya que podría impactar contra el suelo sin haber podido abrir su paracaídas.

Otro riesgo son las bajas temperaturas que se producen a alta altitud. Generalmente el saltador se enfrenta a temperaturas bajo cero, con todos los riesgos que el frío extremo conlleva, aunque se utilizan trajes especiales. ●

■ Bibliografía ■

- 1 INRS. Nuisances physiques au travail. Dossier 2005. La pression / Milieu hyperbare & Altitude <http://www2.inrs.fr/>
- 2 OIT. Enciclopedia de la de Salud y Seguridad. Capítulo 37 "Reducción de la Presión barométrica". <http://www.insht.es>
- 3 Luis Romera de Tejada y Picatoste. Manual de Fisiología Aero-náutica. Editorial Quirón 1994.
- 4 CIMA. Manual del médico de vuelo. Junio 1994.
- 5 Generalitat Valenciana. TLVs® y BEIs® basados en la Documentación de los Valores Límite umbral para Sustancias Químicas y Agentes Físicos e Índices Biológicos de Exposición 2007. Seguridad y Salud en el Trabajo nº 51. (2008).

Documentación. Enciclopedia de la OIT