

# El Desastre del 96: Una forma educativa de explicar las reacciones fisiológicas producidas como consecuencia de la exposición a la baja presión de oxígeno a gran altitud usando la película *Everest* (2015)

Germán DOMÍNGUEZ VÍAS

Área de Fisiología. Facultad de Medicina. Universidad de Cádiz (España).

Autor para correspondencia: Germán Domínguez Vías. Correo electrónico: [german.dominguez@uca.es](mailto:german.dominguez@uca.es)

Recibido el 20 de noviembre de 2017; aceptado el 4 de diciembre de 2017.

**Cómo citar este artículo:** Domínguez Vías G. El Desastre del 96: Una forma educativa de explicar las reacciones fisiológicas producidas como consecuencia de la exposición a la baja presión de oxígeno a gran altitud usando la película *Everest* (2015). Rev Med Cine [Internet] 2018;14(4): 227-236.

## Resumen

El Desastre del 96 del Monte Everest se refiere a los eventos ocurrido del 10 al 11 de mayo de 1996, cuando ocho personas atrapadas en un temporal perdieron la vida, algunos durante el ascenso y, aquellos que ya habían hecho cumbre, mientras descendían. La película *Everest* (2015) refleja fielmente los síntomas previos ocurridos durante la ascensión, razón importante para comprender los efectos de la altura y de las bajas presiones de gases sobre el cuerpo humano. En este trabajo se aborda ambos problemas, *Everest* puede ayudar al alumnado a entender y reflexionar sobre los desafíos para la homeostasis corporal que tienen lugar a grandes alturas.

**Palabras clave:** altitud, presión barométrica, presión de oxígeno alveolar, hipoxia, edema pulmonar, edema cerebral.

## The Disaster of 96: An educational way of explaining the physiological reactions produced as a consequence of exposure to low oxygen pressure at high altitude using the film *Everest* (2015)

### Summary

The 96 Mount Everest Disaster refers to the events that took place from May 10 to 11, 1996, when eight people caught in a storm were died, some during the ascent and, those who had already reached the Summit, while they descended. The film *Everest* (2015) faithfully reflects the previous symptoms that occurred during ascension, an important reason to understand the effects of altitude and low gas pressures on the human body. In this paper we address both problems, *Everest* can help students to understand and reflect on the challenges for body homeostasis that take place at great heights.

**Keywords:** Altitude, Barometric pressure, Alveolar oxygen pressure, Hypoxia, Pulmonary edema, Cerebral edema.

El autor declara que el artículo es original y que no ha sido publicado previamente.

## Ficha técnica

**Título:** *Everest*.

**Título original:** *Everest*.

**País:** Estados Unidos.

**Año:** 2015.

**Director:** Baltasar Kormákur.

**Música:** Dario Marianelli.

**Fotografía:** Salvatore Totino.

**Montaje:** Mick Audsley.

**Guión:** William Nicholson, Simon Beaufoy.

**Intérpretes:** Jason Clarke (Rob Hall), Ang Phula Sherpa (Ang Dorjee), Thomas M. Wright (Michael Groom), Martin Henderson (Andy 'Harold' Harris), Tom Goodman-Hill (Neal Beidleman), Charlotte Bøving (Lene Gammelgaard), Pemba Sherpa (Lopsang), Amy Shindler (Charlotte Fox), Simon Harrison (Tim Madsen), Chris Reilly (Klev Schoening), John Hawkes (Doug Hansen), Naoko Mori (Yasuko Namba), Michael Kelly (Jon Krakauer), Tim Dantay (John Taske), Todd Boyce (Frank Fischbeck), Mark Derwin (Lou Kasischke), Emily Watson (Helen Wilton), Sam Worthington (Guy Cotter), Keira Knightley (Jan Hall), Elizabeth Debicki (Caroline MacKenzie), Josh Brolin (Beck Weathers), Justin Salinger (Ian Woodall), Jake Gyllenhaal (Scott Fischer), Vanessa Kirby (Sandy Hill Pittman), Robin Wright (Peach Weathers), Mia Goth (Meg Weathers), Stormur Jón Kormákur Baltasarsson (Bub Weathers), Ingvar Eggert Sigurðsson (Anatoli Boukreev), Demetri Goritsas (Stuart Hutchinson), Chike Chan (Makalu Gau), Micah Hauptman (David Breashears), Clive Standen (Ed Viesturs), Nancy Baldwin (Janie), Lucy Newman-Williams (Linda), Vijay Lama (Coronel Madan), Avin Shah (Co-Piloto), ...

**Color:** color.

**Duración:** 121 minutos.

**Género:** acción, aventuras, thriller, drama, basado en hechos reales, alpinismo, supervivencia.

**Idioma original:** inglés.

**Productora:** Universal Pictures, Working Title Films, Walden Media, Cross Creek Pictures.

**Sinopsis:** la historia del guía Robert "Rob" Edwin Hall, que el 10 de mayo de 1996, junto con el guía Scott Fischer, se unieron en una expedición conjunta para ascender el Monte Everest. Inspirada en los hechos del "desastre del 96", que tuvieron lugar durante un intento por alcanzar el pico más alto del mundo, narra las peripecias de dos expediciones que se

enfrentan a la peor tormenta de nieve conocida. En un desesperado esfuerzo por adaptarse al entorno y a sobrevivir, el temple de los montañistas se ve puesto a prueba al tener que enfrentarse a las inclemencias del tiempo, a las dificultades del relieve y a una sucesiva serie de desgracias acaecidas por la mala suerte y planificación.

**Premios:** Festival de Venecia: Sección oficial largometrajes (2015; fuera de concurso). Satellite Awards: Nominada a mejores efectos visuales (2015). Sindicato de Actores (SAG): Nominada a Mejores especialistas de acción (2016). Camerimage (Jury Award): Nominada a la mejor película en formato 3D (2015). Premios de la Sociedad de Efectos Visuales (VES Awards): Nominadas a Efectos visuales de apoyo destacados en una función fotorreal (2016) y Modelos excepcionales en un proyecto fotorreal o animado (2016). Jupiter Award:



Cartel de la versión española.

Nominada a la mejor película internacional (2016). Academia de Ciencia Ficción, Fantasía y Películas de Horror, Estados Unidos (Saturn Award): Nominado a la mejor película de acción/aventura (2016).

**Enlaces:**

[http://www.imdb.com/title/tt2719848/?ref\\_=nv\\_sr\\_1](http://www.imdb.com/title/tt2719848/?ref_=nv_sr_1)

<https://www.filmaffinity.com/es/film514809.html>

**Trailer en español**

**Introducción**

A pesar de la gran cantidad de trabajos que documentan la fisiología adaptativa del cuerpo humano ante un ambiente hipobárico, hay pocas películas que recojan un gran catálogo de síntomas ante una mala aclimatación durante el ascenso en un ambiente cada vez más hostil. La película *Everest* (2015) es una gran candidata que complementarí de forma muy visual con el temario de fisiología deportiva y adaptativa en ambientes con bajas presiones de gases atmosféricos. Así mismo, se establecen algunas bases para determinar la adaptación del organismo a distintas altitudes, sus consecuencias fisiológicas, y los conceptos de una adecuada interpretación y su significado clínico. Esta disminución de la presión barométrica es la principal causa de todos los problemas de hipoxia en la fisiología de las grandes alturas porque, a medida que disminuye la presión barométrica, la presión parcial de oxígeno atmosférica disminuye de manera proporcional, permaneciendo en todo momento con 20,93% de la presión barométrica total.

Previo al trágico desenlace ocurrido en el Desastre del 96, el filme inicia con uno de los principales problemas que planteó multitud de cuestiones: la necesidad de la comercialización del Everest, cuyo fin es ofrecer una oferta de deportes profesionalizados para ayudar a alcanzar la cumbre a montañistas no profesionales o inexpertos a ochomiles, que es como se denomina a las elevaciones de terrenos por encima de 8.000 metros de altura sobre el nivel del mar (m s.n.m.). El neozelandés Rob Hall creó el concepto de las expediciones comerciales guiada al Everest para montañistas no profesionales. Otros operadores comerciales siguieron el ejemplo de Rob Hall, entre ellos *Locura de Montaña (Mountain Madness)* del guía Scott Fisher. Rob Hall, guía y líder principal de la expedición comercial *Consultores de Aventura (Adventure Consultants)*, junto con otros guías secundarios (Mike Groom y Andy Harris), sherpas, y ocho de sus clientes de distintas nacionalidades (Frank Fishbeck, Doug Hansen, Stuart Hutchinson, Lou Kasischke, Jon Krakauer, Yasuko

Namba, John Taske y Beck Weathers), iniciaron el viaje hacia la cumbre del Everest.

En el minuto 5 (5':15''), todos los participantes de la expedición se dieron encuentro el 30 de marzo de 1996 en el aeropuerto de Katmandú (Nepal, 1.338 m s.n.m.). Allí Rob Hall hace referencia de los logros de alcanzar la cima con vida: 1) amputaciones de dedos por congelación (hipotermia), todo ello mientras el guía secundario Mike Groom muestra la ausencia de dedos en el pie; 2) - el ser humano no está preparado para soportar la altitud de vuelo de un Boeing 747 (Jumbo), que ofrece un alcance de vuelo intercontinental de 15.000 m s.n.m. Cuando se supere la altura del Collado Sur (7.906 m s.n.m.) el cuerpo empieza a morir, por eso se le denomina también "Zona de la muerte" debido a que no es posible la aclimatación del organismo a alturas superiores de los 8.000 m s.n.m. - . En el minuto 8 (8':48''), se opta por aclimatar los organismos durante 40 días con suaves ascensos, para poder atacar sin dificultades la cima el 10 de mayo debido a la estabilidad que presenta el clima sobre esa fecha de primavera.

**Progreso de la ascensión por etapas**

**Efectos de una presión de oxígeno baja sobre el organismo**

En el minuto 10 (10':22''), todos los componentes del equipo son transportados en helicóptero hasta el helipuerto de Lukla (2.860 m s.n.m.), una ciudad de la región de Khumbu al este de Nepal donde comienzan su viaje la gran mayoría de los visitantes del Himalaya. La Tabla 1 recoge las presiones barométricas y de oxígeno (O<sub>2</sub>) calculadas (aproximaciones) a las diferentes alturas mostradas en la película, con el fin de demostrar al alumno cómo las presiones de los gases disminuyen conforme se gana altura. Tomamos como referencia inicial la presión barométrica al nivel del mar (760 mmHg).

La temperatura se ha calculado en relación con la altitud (Tabla 1). Se tomó como referencia la temperatura máxima que marcó la cima del Everest (-50 °C) entre los días 10 y 11 de mayo de 1996. En la atmósfera libre la temperatura desciende con la altura. Cuando el aire gana altitud éste tiende a expandirse por la disminución de presión lo que genera que el aire pierda su temperatura como resultado de su expansión. Hay que considerar que el aire del Everest es seco, experimentando una variación de temperatura de 1 °C cada 100 m s.n.m., a diferencia del aire saturado de humedad, donde la temperatura descenderá con la altura 0,5 °C cada 100 m s.n.m.

A continuación, de manera aproximada se calcularon las presiones barométricas con la ayuda de la Fórmula Barométrica desde la web HyperPhysics (<http://bit.ly/2xLU2ZE>). La temperatura tiende a disminuir con la altura, por lo que el modelo de cálculo sobreestimaré la presión a una determinada altura (Tabla 1).

La concentración de O<sub>2</sub> en el aire a nivel de mar es de 20,93%, por lo que la presión parcial del O<sub>2</sub> (PO<sub>2</sub>) es de 159 mmHg. Esa presión en individuos sanos permite la saturación de la hemoglobina en un 97%. Hasta una altura de aproximadamente 6.048 m s.n.m., incluso cuando se respira aire, la saturación arterial de O<sub>2</sub> permanece al menos tan elevada como el 90%<sup>1</sup>. Por encima de esa altura, la saturación del O<sub>2</sub> arterial disminuye

rápidamente. El efecto de la respiración con mascarillas de O<sub>2</sub> puro sobre la PO<sub>2</sub> alveolar (PO<sub>2</sub> alv) a diferentes alturas es distinto. Cuando un escalador respira O<sub>2</sub> puro en lugar de aire, la mayor parte del espacio alveolar que previamente estaba ocupado por nitrógeno (N<sub>2</sub>) pasa a estar ocupado por O<sub>2</sub>, dando como resultado un 100% de saturación arterial de O<sub>2</sub> en la cima del Everest, o de un 99% en alturas superiores (hasta los 9.144 m s.n.m.).

Tanto la presión atmosférica como la PO<sub>2</sub> decrecen exponencialmente con la altitud mientras que la fracción de O<sub>2</sub> se mantiene constante por cerca de 100 Km. Cuando la PO<sub>2</sub> cae, el cuerpo responde con aclimatación a la altitud<sup>1,2</sup>. Cuando el cuerpo alcanza cerca de 2100 m s.n.m., la saturación de la hemoglobina

**Tabla 1.** Cálculo, a partir de los valores ofrecidos en el filme, de todos los parámetros que afectan directamente a la fisiología del cuerpo humano sin aclimatar o aclimatadas (entre paréntesis).

Localización	Altitud	Temperatura (Tª)	Aire			Respirando aire			Respirando O <sub>2</sub> puro			
			PB (mmHg)	P O <sub>2</sub> aire (mmHg)	P CO <sub>2</sub> alv (mmHg)	PI O <sub>2</sub> (mmHg)	P O <sub>2</sub> alv (mmHg)	Sat. Art. O <sub>2</sub> (%)	P CO <sub>2</sub> alv (mmHg)	PI O <sub>2</sub> (mmHg)	P O <sub>2</sub> alv (mmHg)	Sat. Art. O <sub>2</sub> (%)
Nivel del mar	0	Variable	760	159	40 (40)	~150	~100 (~100)	97 (97)	40	713	663	>100
Lukla	2860	+9	537	112	~37 (~23)	~103	~57 (74)	93 (95)	40	490	440	>100
Bazar de Namche	3750	-1	474	99	~33 (~21)	~90	~49 (~64)	85 (90)	40	427	377	>100
Monasterio Tengboche	3867	-2	~467	~98	32 (20)	88	48 (63)	84 (89)	40	420	370	>100
Monumento a los montañistas	4877	-12	401	~84	28 (~18)	74	39 (51)	80 (87)	40	354	304	>100
Campo Base del Everest	5364	-17	371	~78	26 (~17)	68	35 (~47)	75 (86)	40	324	274	>100
Campo 1	5944	-23	337	~71	24 (15)	~61	31 (42)	73 (85)	40	290	240	>100
Campo 2	6492	-28	307	64	22 (14)	~55	27 (37)	71 (83)	40	260	210	>100
Cara Lothse	7132	-34	274	57	20 (13)	~48	23 (32)	68 (78)	40	227	177	>100
Campo 3	7315	-36	265	55	20 (~13)	~46	21 (~30)	67 (77)	40	218	168	>100
Campo 4	7951	-41	~236	49	18 (~12)	~40	17 (25)	64 (74)	40	189	139	>100
El Balcón	8412	-46	214	~45	17 (11)	35	14 (21)	58 (66)	40	167	117	>100
El paso de Hillary	8760	-49	~200	~42	16 (10)	32	12 (19)	50 (60)	40	153	103	>100
Cima del Everest	8848	-50	~196	41	16 (10)	31	11 (18)	<50 (<60)	40	149	99	99

Altitud expresada en metros sobre el nivel del mar. PB = Presión barométrica del aire atmosférico. P O<sub>2</sub> aire = Presión de oxígeno del aire atmosférico. P CO<sub>2</sub> alv = Presión parcial de dióxido de carbono en el alveolo. PI O<sub>2</sub> = Presión parcial de oxígeno inspirado. P O<sub>2</sub> alv = Presión parcial de oxígeno en el alveolo. Sat. Art. O<sub>2</sub> = Saturación de oxígeno unida a hemoglobina en sangre arterial (datos orientativos y aproximados).

comienza a disminuir drásticamente<sup>3</sup>. Sin embargo, el cuerpo humano posee adaptaciones a corto y largo plazo que le permiten compensar, en forma parcial, la falta de O<sub>2</sub>. Los sujetos que viven por encima de los 3.000 m s.n.m. se encuentran en un estado relativo de hipoxia. Dicho concepto debe ser meditado, ya que, como hemos comentado, la composición del aire es porcentualmente el mismo, tanto a nivel del mar como en la cima del Everest. Lo que varía es la presión barométrica y, a su vez, la presión parcial de los gases. Existe un límite para la adaptación, los montañistas se refieren a las altitudes superiores a los 8.000 m s.n.m. como la *Zona de la muerte*, donde ningún organismo puede aclimatarse.

Paul Bert (1878) ya describió con precisión que los trastornos producidos por la altura sobre el organismo<sup>4</sup> tienen su punto de partida en una menor presión barométrica (PB), lo que genera una menor presión inspiratoria de O<sub>2</sub> (PI O<sub>2</sub>), con una disminución leve de la saturación de O<sub>2</sub> en la hemoglobina y una menor tensión de O<sub>2</sub> en los gases arteriales.

$$PI O_2 = FIO_2 \times (PB - 47)$$

Al aumentar la altitud tanto la FIO<sub>2</sub> (cuyo valor es el porcentaje de O<sub>2</sub> en la atmósfera, 20,93%) como la presión de vapor de agua (47 mmHg) son parámetros constantes, mientras que la PB total y presiones parciales del O<sub>2</sub> van disminuyendo progresivamente con la altitud. La presión del vapor de agua de los alveolos permanece en 47 mmHg siempre que la temperatura corporal sea normal, independientemente de la altura.

La hipoxia hipobárica es un fenómeno que se define como el descenso en el aporte de oxígeno a los tejidos debido a una caída en la presión parcial de este gas por la exposición a una atmósfera de bajas presiones. El término *hipoxia* hace referencia a un descenso de la PO<sub>2</sub>, y el término *hipobárica* a una PB inferior a la presión atmosférica. Para observar este fenómeno es preciso acudir a la Ecuación de Gas Alveolar:

$$P O_2 \text{ alv} = PI O_2 - P CO_2 \text{ alv}/R$$

Donde la R es un parámetro cuyo valor es de 0,8, reflejando la relación entre la producción de CO<sub>2</sub> y el consumo de O<sub>2</sub>. Depende del metabolismo de los tejidos en un estado estable. En el caso del CO<sub>2</sub>, durante la exposición a alturas muy grandes la presión parcial de CO<sub>2</sub> alveolar (P CO<sub>2</sub> alv) disminuye desde el valor que hay al nivel del mar de 40 mmHg a valores menores. En la persona aclimatada, que aumenta su ventilación

aproximadamente cinco veces, la P CO<sub>2</sub> alv disminuye hasta aproximadamente hasta valores cercanos de 7 mmHg debido al aumento de la respiración. El CO<sub>2</sub> y el vapor de agua reducen el O<sub>2</sub> alveolar, reduciendo la concentración de O<sub>2</sub>.

La presión parcial de O<sub>2</sub> alveolar (P O<sub>2</sub> alv) para el nativo que vive a esas altitudes es una constante normal para su hábitat, sin juzgar a priori, si el sujeto se encuentra en hipoxia o no, ya que el organismo humano en sujetos nativos aclimatados y/o adaptados, conlleva parámetros de gases normales, con un pH dentro de la normalidad y una P CO<sub>2</sub> alv disminuida. Esto se debe a una mayor eliminación de CO<sub>2</sub> por una hiperventilación leve, mostrando que los valores de los adaptados y aclimatados dejan de ser importante, con frecuencias respiratorias tan normales como en los sujetos que viven a nivel de mar.

### Efectos agudos de la hipoxia

En el minuto 11 (11':21''), todos han ascendido al Bazar de Namche (3.750 m s.n.m.). Justo a continuación (12':07'') empiezan los primeros signos de malestar en el escalador Beck Weathers. Debido a una ascensión rápida y a una mala aclimatación comienza a sufrir del *Mal de Altura* (Foto 1). Los valores normales de saturación de O<sub>2</sub> en sangre arterial oscila entre un 95% y un 100%, pero los escaladores no aclimatados y pacientes con enfermedad pulmonar a menudo tienen un porcentaje más bajo a menos que utilicen O<sub>2</sub> suplementario. Una persona no aclimatada habitualmente puede permanecer consciente hasta que la saturación arterial de O<sub>2</sub> disminuya hasta el 50%<sup>1,2</sup>. Algunos de los efectos agudos más importantes de la hipoxia en escaladores no aclimatados que respiran aire comienza aproximadamente sobre esa altura. Los síntomas son mareo, laxitud, fatiga mental y muscular, a veces cefalea, de manera ocasional náuseas y algunas veces euforia. Estos efectos progresan a una fase de calambres o convulsiones por encima de 5.500 m s.n.m. y finalizan por encima de



**Foto 1.** Pre-síntoma hipóxico del *Mal de Altura*. Beck Weathers (a la derecha de la fotografía) empieza a sentir los signos previos al *Mal de Altura* a 3.750 m s.n.m.

7.000 m s.n.m. en la persona no aclimatada en el coma, seguido poco después de la muerte.

En el minuto 13 (13':51''), llegan hasta el Monasterio Tengboche, con una altitud de 3.867 m s.n.m. De ahí da paso al minuto 14 (14':28''), con la visita al monumento a los montañistas en Thokla, a 4.877 m s.n.m. Los escaladores pueden apreciar una maniobra de salvamento, donde un grupo de personas descienden a un sherpa respirando O<sub>2</sub> puro (Foto 2). Se observa que padece del efecto agudo de la hipoxia (mal de las alturas agudo).



**Foto 2.** Un sherpa es trasladado al hospital tras la primera atención médica inmediata debido a un cuadro agudo de Mal de Altura.

Justo en el minuto 18 (18':40''), es cuando la médica de la expedición, Caroline MacKenzie, les explica cómo deben de funcionar en ese nuevo ambiente antes de llegar a la cima: "Desde el punto de vista médico llevaros a la cumbre del Everest depende del O<sub>2</sub> y de su escasez. Para llegar a la cima vuestro cuerpo debe prepararse para la falta de O<sub>2</sub> de ahí arriba. Durante el próximo mes, antes de la ascensión final, haréis tres ascensiones parciales de aclimatación y después volveréis al campamento base".

La permanencia del grupo a alturas elevadas durante días, semanas, incluso si fueran de meses o años, permite una mejor aclimatación a la PO<sub>2</sub> baja, de modo que produce menos efectos adversos sobre el cuerpo, y es posible que los montañistas trabajen más sin los efectos de la hipoxia o asciendan a alturas todavía mayores. Los principales mecanismos que trabajarán para la nueva adaptación son conocidos<sup>1,2</sup>: 1) un gran aumento de la ventilación pulmonar; 2) un aumento del número de eritrocitos; 3) un aumento de la capacidad de difusión pulmonar; 4) un aumento de la vascularización de los tejidos periféricos; y 5) un aumento de la capacidad de las células tisulares de utilizar el O<sub>2</sub> a pesar de una PO<sub>2</sub> baja (aclimatación celular). El organismo se puede adaptar a la altitud mediante una aclimatación inmediata o a largo plazo. A gran altitud y por un corto periodo, la falta de O<sub>2</sub> es detectada por los quimiorreceptores arteriales de los cuerpos carotídeos, aunque también pueden jugar un

papel los quimiorreceptores aórticos y pulmonares, y causa el incremento del ritmo respiratorio (hiperventilación). El aumento inmediato de la ventilación pulmonar al ascender elimina grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, reduciendo la PCO<sub>2</sub>, y aumentando el pH de los líquidos corporales. De este modo se produce una alcalosis respiratoria, que inhibe el centro respiratorio del tronco encefálico, oponiéndose al efecto de la PO<sub>2</sub> baja en la estimulación de la respiración por medio de los quimiorreceptores arteriales periféricos de los cuerpos carotídeos y aórticos. A los 2-5 días siguientes esta inhibición desaparece, posiblemente por la reducción de la concentración de iones bicarbonato en el líquido cefalorraquídeo y en los tejidos cerebrales, permitiendo que el centro respiratorio responda totalmente a la estimulación de los quimiorreceptores periféricos por la hipoxia y la ventilación aumenta hasta aproximadamente cinco veces con respecto a lo normal. La incapacidad de incrementar el ritmo respiratorio causa una respuesta inadecuada del cuerpo carotideo, afecciones pulmonares o problemas renales. A grandes alturas más rápido late el corazón, ello es debido a que aumenta el volumen sanguíneo y el gasto cardíaco hasta un 30% inmediatamente después de que una persona realice un ascenso, disminuyendo luego el gasto cardíaco hasta valores normales en un periodo de tiempo (semanas) a medida que aumenta el hematocrito sanguíneo. Esto último permitirá que la cantidad de O<sub>2</sub> que se transporta hacia los tejidos corporales periféricos siga siendo aproximadamente normal. La digestión se vuelve menos eficiente debido que el cuerpo suprime el sistema digestivo en favor de incrementar las reservas del sistema cardiorespiratorio<sup>5</sup>. Esto es una de las posibles explicaciones por las que el guía Scott Fischer tuviera graves problemas digestivos a lo largo del filme, junto con un cuadro de mal de altura que se transformó de leve a severo, aun a pesar de las continuas inyecciones de dexametasona.

En el minuto 20 (20':11''), llegan hasta el Campo Uno (5.944 m.s.n.m.). Allí dan referencias sobre cuidados del frío y de las consecuencias de la hipotermia: "Cuidado con la hipotermia, produce dificultad para hablar o comportamiento irracional. He visto alpinistas que se quitaban toda la ropa a 8.000 m de altura porque tenían calor".

A continuación (20':24''), explica qué es un edema cerebral y el edema pulmonar (Foto 3): "¿Sabéis que es un edema cerebral? El cerebro se hincha provocando la pérdida de la capacidad motora y finalmente la muerte. En el edema pulmonar los pulmones se encharcan de líquido hasta que te ahogas. La única cura es bajar de la montaña rápidamente".



**Foto 3.** Secuencia de fotogramas de los signos del edema pulmonar, donde se aprecia a un montañista abatido por tos violenta (A, B) y expectoración sanguinolenta (C, D).

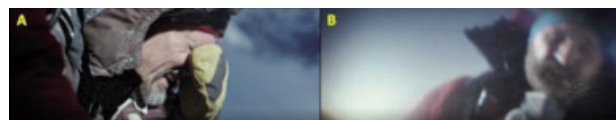
Durante el minuto 24 (21':04''), en el Campo Dos (6.492 m.s.n.m.) se le enseñan a manejar el equipo de respiración. Dan órdenes de apertura del regulador, comprobar que suena la salida de O<sub>2</sub>, conectar tubos a la válvula y máscara, respirar a través de ella y regular la presión. Doug Hansen empieza a manifestar edema pulmonar agudo por el ruido de su tos (21':36''). El guía Rob Hall le manifiesta su preocupación, recomendando que esa noche duerma con O<sub>2</sub> y que acuda al médico de la expedición. Tras una auscultación (Foto 4), el tratamiento prescrito es el adecuado, el uso de dexametasona<sup>6</sup>. El líder de la expedición Mountain Madness, Scott Fischer, también se inyecta dexametasona (44':53'') tras bajar desde Campamento Dos hasta Campamento Base, y decidir, al día siguiente, continuar hasta Campamento Tres sin apenas descansar, ni tratar su leve signo edematoso (Foto 5).



**Fotos 4 y 5.** Auscultación y tratamiento con dexametasona tras manifestar un cuadro de mal de altura.

Existen dos formas graves del mal de altura, el edema pulmonar de gran altura (HAPE, líquido en los pulmones) y el edema cerebral de gran altura (HACE, líquido en el cerebro). Pueden ir precedidas de síntomas leves (dolor de cabeza, insomnio, falta de apetito, aturdimiento leve), o bien aparece bruscamente en un montañista previamente sano, a causa de un ascenso de gran desnivel con gran rapidez. Las dos tienen un alto índice de mortalidad y pueden ocurrir cuando ya ha pasado un día o un día y medio a demasiada altura (normalmente, por encima de 3.500 m s.n.m.). Los síntomas de HAPE (Foto 3) son graves, e incluyen dificultad respiratoria importante, tos seca, expectoración sanguinolenta, presión o dolor en el pecho, palpitaciones y fatiga. A causa del edema pulmonar se puede oír con el estertor un

ruido de burbujeo durante la respiración. Los labios, bordes externos de la orejas y uñas pueden parecer cianóticos por la falta de O<sub>2</sub>. La aparición del HACE es la forma de presentación más grave y rápida del mal de altura. Los síntomas de HACE son fundamentalmente náuseas, vómitos, dolores de cabeza, alteraciones visuales, irritabilidad, descoordinación, distracción, confusión, posible pérdida de conciencia, convulsiones e incluso coma. Beck Weathers experimentó pérdida de visión durante la ascensión (Foto 6). Se desconoce si es parte de la sintomatología del mal de altura o que sea ceguera transitoria de altitud que aparece a partir de 2.500 m s.n.m. Aunque se postula a una combinación de factores (falta de O<sub>2</sub>, hemorragias en la retina, inflamación de la córnea a consecuencia del frío y una inflamación de la conjuntiva causada por la radiación solar), se le achaca probablemente a una complicación por una antigua operación en la vista (52':44'').



**Foto 6.** A. Beck Weathers en el momento que nota dolor de ojos (A) y pérdida de visión (B).

Dale Kruse, montañista del grupo de Scott Fischer, manifestó las dos formas graves de edema (Foto 7) tras iniciar ascenso desde Campamento Base (5.364 m s.n.m.) hasta campamento dos (6.492 m s.n.m.) sin realizar descanso en campamento uno (5.944 m s.n.m.). Deciden bajar a Campamento Uno y allí decide Scott Fischer su traslado hasta Campamento Base (41':22'').



**Foto 7.** Dale Kruse en estado grave por manifestar edema pulmonar y cerebral.

Los personajes del filme, conforme presentaban los síntomas leves del mal de altura, eran tratados de inmediato con reposo sobre el mismo terreno durante

24-48 horas, acompañado de una buena hidratación y una dieta rica en azúcares. Con este tratamiento es suficiente. Se le prohibía el ascenso cuando los montañistas presentaban síntomas de mal de altura, aunque fuese leve, ya que pueden evolucionar hacia formas más graves. La imprudencia del líder Rob Hall ante la negativa de seguir la ascensión de Doug Hansen a escasos cientos de metros de la cima (1h:05':30''), ya afectado gravemente por el mal de altura y sin reservas de O<sub>2</sub>, propició el retraso mortal de sus regresos justo cuando se iniciaba las peores consecuencias de una tormenta. Ya hemos comentado que por encima de una altitud de 8.000 m s.n.m., en la cual la presión parcial de O<sub>2</sub> no es suficiente para mantener la vida humana, se denomina *zona de la muerte*. Cuando los síntomas son más graves o empeoran, como era el caso, debe iniciarse inmediatamente el descenso del afectado a la menor altura posible, y siempre acompañado. A veces, un descenso de 400 metros suele ser suficiente para notar una mejoría. Otra medida, si no hubiese fallado la válvula reguladora de O<sub>2</sub> por congelación, hubiese sido administrar O<sub>2</sub> a través de la mascarilla, una cantidad de 3 a 5 litros por minuto a una concentración no inferior al 40%. Para el tratamiento del dolor de cabeza se pueden usar analgésicos menores como el paracetamol o aspirina, entre otros. En cuanto al insomnio de altura, sobre todo si es provocado por causas periódicas de la respiración, debe tratarse con acetazolamida, pero nunca con hipnóticos o sedantes, ya que pueden empeorar aún más la respiración. La medicación nunca sustituye al descenso.

### Hipotermia y congelamiento

Gran parte de los graves accidentes y las más fatales de las muertes en el Everest ocurren en esta *zona de la muerte*, ya sea directamente por pérdida de signos vitales o indirectamente por decisiones incorrectas hechas bajo estrés o debilitamiento físico. En esta zona ningún organismo se puede aclimatar. El cuerpo humano usa su abastecimiento de O<sub>2</sub> más rápido de lo que puede reemplazar. Un periodo prolongado en esta zona desencadena un deterioro de las funciones del cuerpo, pérdida de consciencia y, finalmente, la muerte<sup>7,8</sup>. Se aprecia como el guía secundario de Rob Hall, Andy Harris, tras acudir a auxiliar sin éxito a Rob Hall y Doug Hansen, sufre un deterioro mental grave con paranoias y alucinaciones (1h:25':40''). A temperaturas inferiores a 0°C manifiesta una sensación ilusoria de hipertermia y se desprende de toda la ropa (Foto 8). Otra posible razón del origen del calor o "quemazón" puede darse por la descarga de adrenalina y vasoconstricción durante un tiempo prolongado. Esto ayuda a preservar la temperatura corporal. En caso de frío

extremo o cuando el cuerpo es expuesto al frío por periodos prolongados, esta estrategia protectora puede reducir el flujo sanguíneo en algunas áreas del cuerpo a niveles peligrosamente bajos. Las áreas donde esto ocurre se congelarán. La sangre se enfría debido a esta vasodilatación y va perdiendo calor. Además, hay un edema por vasodilatación y los pies se hinchan (a la persona le hacen daño los zapatos y se los quita). Entra en somnolencia, favorecida por la hipotermia y, al haber una toxemia debida a la vasodilatación, las denominadas "sustancias de la fatiga o hipnotoxinas" actúan sobre el centro del sueño del mesencéfalo. La combinación de temperaturas frías y bajo flujo sanguíneo pueden causar lesiones graves en los tejidos que sufren congelación. Ello produce la formación de cristales de hielo intra/extracelulares con hipertonicidad, desnaturalización de proteínas, destrucción de membranas celulares, hiperviscosidad plasmática y disminución de la conducción nerviosa. Al haber anoxia y, consiguientemente acidosis, se libera histamina, que da lugar a vasodilatación (fenómeno de Ricketts), debido al predominio del simpático sobre el parasimpático; el individuo tiene gran euforia y seguridad. Se piensa que Andy Harris desaparece tras resbalar y caer desde gran altura.



Foto 8. Andy Harris se quita la ropa al manifestar sensación de calor y ardor por congelación.

Un total de ocho personas mueren a causa de la hipoxia y la congelación. Se tomó también la difícil decisión de dar por muerto a Beck Weathers dado que estaba en coma y congelado. Sin embargo, más tarde, en ese mismo día y de forma inexplicable para el campo de la medicina, reapareció caminando (Foto 9) hasta el campamento con dificultad tras recobrar la consciencia (1h:44':11'').



Foto 9. Beck Weathers "resucita" y camina hasta el campamento con una severa hipotermia y congelamiento en las partes del cuerpo que no están cubiertas.



Rápidamente, antes de ser evacuado en helicóptero, fue atendido con O<sub>2</sub> (1h:45':46"). La base del tratamiento de las lesiones por congelación es el recalentamiento rápido del miembro afectado mediante inmersión en agua a 40-42°C durante 15-30 min (Foto 10). Unas temperaturas menores parecen ser menos eficaces para conseguir la recuperación del tejido, y unas temperaturas mayores pueden producir quemaduras térmicas. La aplicación de calor seco y el calentamiento lento están contraindicados. Durante el tratamiento, la aparición de un eritema de coloración violácea y el ablandamiento de la zona que permite plegar la piel son signos favorables de recuperación.



**Foto 10.** Beck Weathers es tratado con O<sub>2</sub> y sumergiendo los miembros congelados en agua tibia.

Tras el tratamiento inicial se produce la recuperación lentamente progresiva de los tejidos viables y la necrosis del área irrecuperable. La definición de la extensión del daño se produce una vez transcurrido un tiempo variable, de uno a tres meses, después de la exposición al frío. Entonces se llevará a cabo el desbridamiento quirúrgico de los tejidos necróticos y las amputaciones necesarias. En los créditos finales se muestra que Beck Weathers perdió ambas manos y la nariz debido al congelamiento severo (1h:53':00").

## Resultados y discusión

Se sugiere que los fatales resultados ocurridos en ambas expediciones son dados por la poca cualificación de los clientes, y la confianza proporcionada por el uso de botellas de O<sub>2</sub> solo en casos de emergencia, llevando a tomar situaciones peligrosas, junto con la presión añadida de ir acompañado de un periodista, Jon Krakauer, de la importante revista *Outside* para montañistas. También se critica la decisión de no usar O<sub>2</sub> suplementario mientras realizaba su función de guía a Anatoli Bukrèyev, guía secundario de Scott Fischer. El propio Krakauer manifiesta que, dentro del umbral de la *zona de la muerte*, muchas de las desacertadas decisiones que se tomaron el 10 de mayo fueron ocasionadas por

dos o más días sin una adecuada oxigenación, una restringida dieta y falta de descanso<sup>9</sup>. Además, investigadores de la universidad de Toronto descubrieron que las adversas condiciones climatológicas del 11 de mayo fueron la causa de una caída drástica en los niveles de O<sub>2</sub>, de alrededor de un 6%, que resultó en una reducción de 14% en el consumo de O<sub>2</sub><sup>10</sup>.

En la tabla 1 se muestra la variación de la saturación arterial de O<sub>2</sub> durante la ascensión hasta la cima del Everest, sin embargo, se echa en falta que se midieran esos valores de saturación tras el periodo de aclimatación. Varios artículos muestran por oximetría de pulso que la saturación arterial de O<sub>2</sub> aumenta tras una habituación de 30 días en el Campamento Base<sup>11</sup>. En la *American Medical Research Expedition to Everest*, afirman que el aumento de la saturación a grandes altitudes se podría deber a los estados de hiperventilación<sup>12</sup>. Por otro lado, afirman que la hiperventilación en los ascensos a grandes alturas, es facilitada por una menor viscosidad del aire, lo cual incrementa el porcentaje de saturación de O<sub>2</sub> arterial<sup>13,14</sup>. En 2009, otros estudios sacaron sus conclusiones estudiando a un grupo de montañistas que ascendieron al Everest<sup>8,15-18</sup>: (1) la disminución de la P O<sub>2</sub> alv es proporcional al descenso de la PB mientras que la saturación de O<sub>2</sub> es mantenida pese a los grandes cambios barométricos con la altitud; (2) incrementos en la concentración de hemoglobina compensan el contenido arterial de O<sub>2</sub> hasta niveles que alcanzan los 7.000 m s.n.m.; (3) no se pudo demostrar alteraciones neurocognitivas que avalaran disturbios serios de hipoxia hipobárica cerebral. Este punto no concuerda con las manifestaciones que sufrieron los personajes reales y las mostradas en la ficción. Así lo afirma contundentemente otros autores, donde sí reconocen la presencia de estas alteraciones neurocognitivas por hipoxia hipobárica cerebral en alturas extremas, independientemente de que esté o no aclimatado. Ellos aseguran que, en condiciones agudas y crónicas de hipoxia hipobárica cerebral, existe un bloqueo de los mecanismos de autorregulación cerebral<sup>19</sup>.

## Conclusiones

Todos los datos que se recogen en este trabajo suscitan que la película Everest es una digna candidata de estudio clínico para hacer entender conceptos básicos de la fisiología adaptativa en ambientes hostiles. Las variables utilizadas en relación con los cambios de presión de los gases pulmonares, tras modificarse las condiciones barométricas, ayudan a reflexionar sobre los cambios fisiológicos que sufre un montañista, con o sin aclimatación, a alturas extremas.

## Agradecimientos

El Dr. Domínguez-Vías agradece la ayuda del profesor Dr. José Juan Vallo de Castro de la universidad de Cádiz, por la cesión de su material literario e inestimable ayuda para la elaboración y desarrollo de ideas en el ámbito de la fisiología adaptativa a la altura.

## Referencias

- Hall JE, Guyton CA. Guyton & Hall. Tratado de Fisiología Médica. 12ª edición. Barcelona: Elsevier; 2011.
- Ashcroft F. Life at the extremes. The science of survival. London: Flamingo; 2001.
- Young AJ, Reeves JT. Human Adaptation to High Terrestrial Altitude. In: Lounsbury DE, Bellamy RF, Zajchuk R, editors. Medical Aspects of Harsh Environments, vol 2. Virginia: Office of the Surgeon General, Washington, DC: Borden Institute; 2002. p. 647-91.
- Bert P. Barometric Pressure. Researches in Experimental Physiology. Columbus, Ohio, FC Long's College Book Company, 1943.
- Westerterp KR. Energy and water balance at high altitude. *News Physiol Sci*. 2001;16(3):134-7.
- Maggiorini M, Brunner-La Rocca HP, Peth S, Fischler M, et al. Both tadalafil and dexamethasone may reduce the incidence of high-altitude pulmonary edema: a randomized trial. *Ann Intern Med*. 2006;145(7):497-506.
- Huey RB, Eguskita X. Limits to human performance: elevated risks on high mountains. *J Exp Biol*. 2001;204(18): 3115-9.
- Grocott MPW, Martin DS, Levett DZH, McMorrow R, Windosr J, Montgomery HE. Arterial blood gases and oxygen content in climbers on mount Everest. *N Engl J Med*. 2009;360(2):140-9.
- Krakauer J. Into Thin Air: A Personal Account of the Mount Everest Disaster. New York: Anchor Books/Doubleday; Hardcover Edition; 1997.
- Moore K, Semple JL. The day the sky fell on Everest. *New Scientist*. 2004;2449:15. [Consultado el 10 de septiembre de 2017].
- Botella de Maglia J, Real-Soriano R, Compte-Torrero L. Saturación arterial de oxígeno durante la ascensión a una montaña de más de 8000 metros. *Med Intensiva*. 2008;32(6):277-81.
- West JB, Schoene RB, Milledge JS. High altitude medicine and physiology. 4th ed: London: Hodder Arnold; 2007.
- Dempsey JA, Wagner PD. Exercise-induced arterial hypoxemia. *J Appl Physiol*. 1999;87(6):1997-2006.
- Hackett PH, Roach RC. High-altitude illness. *N Eng J Med*. 2001;345(2):107-14.
- Sutton JR, Reeves JT, Wagner PD, Groves BM, Cymerman A, Malconian MK, et al. Operation Everest II: oxygen transport during exercise at extreme simulated altitude. *J Appl Physiol*. 1988;64(4):1309-21.
- Wagner PD. Operation Everest II. *Rev Am Med Resp*. 2011;1:24-34.
- Richalet JP, Robach P, Jarrot S, Schneider JC, Mason NP, Cauchy E, et al. Operation Everest III (COMEX '97). Effects of prolonged and progressive hypoxia on humans during a simulated ascent to 8,848 M in a hypobaric chamber. *Adv Exp Med Biol*. 1999;474:297-317.
- West JB, Hackett PH, Maret KM, Milledge JS, Peters Jr RM, Pizzo CJ, et al. Pulmonary gas exchange on the summit of Mount Everest. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 1983;55(3):678-87.
- Iwasaki K, Zhang R, Zuckerman JH, Ogawa Y, Hansen LH, Levine BD. Impaired dynamic cerebral autoregulation at extreme high altitude even after acclimatization. *J Cerebral Blood Flow Metab*. 2011;31(1):283-92.



German Domínguez Vías. Doctor en Medicina por la Universidad de Cádiz. Master Universitario en Avances en Seguridad de los Alimentos y Licenciado en Biología por la Universidad de Jaén. Actualmente es profesor de la Facultad de Medicina de la Universidad de Cádiz. Imparte clases en asignaturas del área de fisiología en los grados de medicina y fisioterapia, e implementa el Cine como recurso educativo. Su línea de investigación se centra en la neurodegeneración por lesiones traumáticas y modelos neurodegenerativos como la esclerosis lateral amiotrófica (ELA).