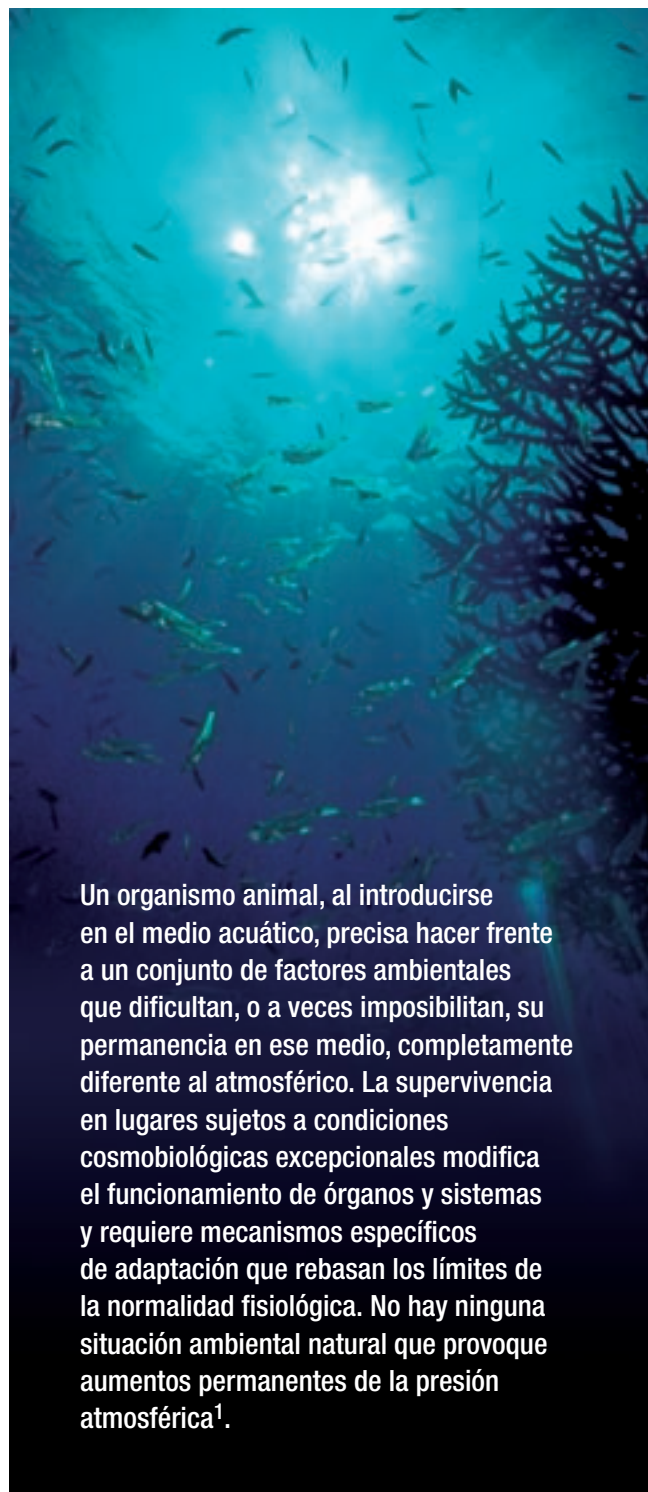


Mecanismos fisiológicos de adaptación al medio subacuático

Jordi Desola

Medicina Interna, Medicina del Trabajo y Medicina de la Educación Física y del Deporte. Máster en Medicina Subacuática e Hiperbárica de la Universidad de Barcelona. Unidad de Terapéutica Hiperbárica del Centro de Recuperación e Investigaciones Submarinas. Barcelona. España.



Un organismo animal, al introducirse en el medio acuático, precisa hacer frente a un conjunto de factores ambientales que dificultan, o a veces imposibilitan, su permanencia en ese medio, completamente diferente al atmosférico. La supervivencia en lugares sujetos a condiciones cosmobiológicas excepcionales modifica el funcionamiento de órganos y sistemas y requiere mecanismos específicos de adaptación que rebasan los límites de la normalidad fisiológica. No hay ninguna situación ambiental natural que provoque aumentos permanentes de la presión atmosférica¹.

Modificaciones ambientales producidas por el medio acuático

El medio acuático es demasiado diferente al atmosférico terrestre (tabla I) y no hay una forma de vida humana en permanente contacto con el medio acuático, como ocurre en las alturas. El medio acuático supone siempre un hábitat hostil y agresivo, y no podemos hablar de adaptación, ni tan sólo de aclimatación, sino de supervivencia, para lo que se utilizan sofisticados aparatos que permiten respirar y subsistir bajo el agua durante períodos breves^{2,3}.

Absorción del espectro solar

Una parte de la radiación solar se refleja en la interfase con el mar, pero la luz difunde a través del agua a una velocidad diferente que en el aire. Su espectro no atraviesa el agua con la misma facilidad y es retenido de modo parcial a medida que aumenta la profundidad. En la práctica, los colores van desapareciendo de forma progresiva a medida que se desciende en la profundidad del mar. En el primer contacto, predomina de forma subjetiva el color azul, y a partir de los 10 m desaparece el rojo, a los 30 el amarillo, y a los 40 m de profundidad sólo se aprecian el gris y el azul verdoso, y a partir de los 40 m se entra en condiciones de penumbra progresiva, hasta llegar a los 400 m o más, donde la oscuridad es absoluta. Este efecto se debe únicamente a la absorción de la luz, pero no afecta al funcionamiento del ojo que percibe perfectamente los colores, si se añade una fuente adicional de luz.

Cambios en la refracción de la luz

La luz solar al penetrar en el agua experimenta un cambio en su índice de refracción. El ojo humano sin protección adecuada se convierte en *hipermétrope* bajo el agua; es decir, las

Tabla I. Modificaciones ambientales del medio subacuático

Aumento de presión
Anaerobiosis relativa
Disminución de temperatura
Aumento de densidad del medio
Aumento de velocidad de propagación del sonido
Cambio de índice de refracción de la luz
Absorción del espectro solar

imágenes se forman por detrás del centro óptico del ojo. La solución para recuperar una visión correcta bajo el agua es crear un nuevo medio aéreo delante del ojo, utilizando una máscara protectora. Su función no es proteger el ojo ni evitar el contacto con el agua, sino hacer posible la visión subacuática. La moderna tecnología permite añadir con facilidad la corrección óptica que cada persona precise, por un precio razonable. Las lentillas de contacto no resuelven este problema de una forma adecuada, y pueden ser causa de problemas bajo presión. La nueva imagen se percibe desde una posición relativamente más cercana, y el efecto produce un aumento aparente del tamaño de las imágenes (fig. 1).

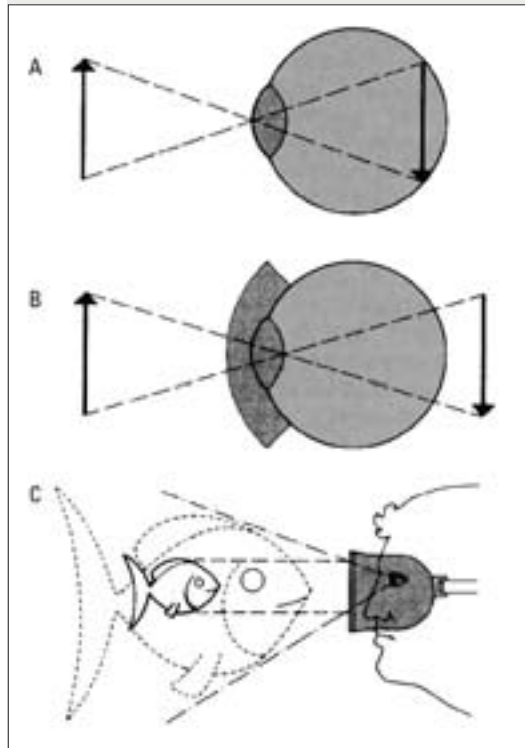
Aumento de la velocidad de transmisión del sonido

En el aire, el sonido circula a una velocidad de 340 m/s. En el agua, su velocidad es de aproximadamente 1.500 m/s. Nuestro oído no está habituado a esta circunstancia y bajo el agua es muy difícil orientarse por estímulos auditivos, que acceden con facilidad y de todas direcciones. A menudo apreciamos un ruido como muy lejano, pero que en realidad corresponde a una embarcación que pasa casi por encima de nosotros. Otras veces oímos perfectamente el motor de otra que está fuera del alcance de nuestra visión. El buceador debe aprender a orientarse especialmente con los demás sentidos.

Aumento de la densidad del medio

El agua es mucho más densa que el aire. Ello no sólo limita y dificulta la progresión en su interior, sino que además produce una sensación de ingravidez, pero se trata en realidad de una forma de equilibrio entre el impulso gravitacional y el ascensional. Según el célebre principio de Arquímedes, un cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje ascensional equivalente al peso del fluido desalojado. El peso de un cuerpo es el producto de su densidad por su volumen. La flotabilidad de un individuo dependerá, por tanto, de la densidad de sus estructuras y de la constitución de sus tejidos. Es perfectamente conocido que unas personas flotan más que otras. En líneas generales, las mujeres flotan más que los varones, por ser mayor su proporción de grasa y menor su volumen muscular. Todos los individuos tienen un equilibrio de flotación indiferentemente o ligeramente positivo, que es mayor en agua salada, más densa, que en agua dulce. El mayor o menor llenado pulmonar permite desplazar este equilibrio. El escafandrista

Figura 1. Efecto de los cambios de la refracción de la luz en el ojo humano.



A. En condiciones normales, la imagen invertida se forma en posición correcta. B. En el ojo desnudo bajo el agua, la imagen se forma por detrás del foco y se percibe de forma distorsionada. C. Si se intercala una cámara de aire mediante la máscara de buceo, la imagen se forma por delante del foco, con lo cual se percibe aumentada de tamaño.

Gráfico reproducido de JANO N.º 380, 25 de julio de 1979, pág. 47.

utiliza un cinturón de plomo para compensar la flotabilidad y un chaleco compensador que puede hinchar y vaciar según precise.

Disminución de temperatura

El agua está siempre más fría que el aire, incluso en clima tropical, donde las temperaturas escasamente sobrepasan los 28 °C. En nuestro medio, la temperatura del Mediterráneo oscila entre los 12 y los 24 °C. Los cambios térmicos afectan principalmente a las capas más superficiales del agua; en aguas profundas los cambios son mucho menores y la temperatura a 40 m de profundidad oscila entre los 12 y los 17 °C. En cualquier caso, estas temperaturas son inferiores a las del cuerpo humano (37 °C) cuya permanencia en el agua queda por tanto limitada. Siempre hay un intercambio calórico entre un cuerpo y el medio que le rodea, cediendo calor el más caliente al más frío. En condiciones normales, el hombre cede calor al medio por los 4 mecanismos conocidos de conducción, radiación, convección y evaporación. En el agua, la pérdida calórica por radiación es poco importante y se limita a calentar las capas en la inmediata proximidad del cuerpo. Al ser el agua buena transmisora del calor, aumenta la conducción del calor corporal a través de la masa líquida. A ello se añade la con-

tinua renovación de la capa de aire en contacto con la piel, con lo cual los mecanismos de convección y conducción adquieren una gran importancia⁴⁻⁶. La evaporación en el bañista no adquiere dimensiones importantes, pero en el escafandrista puede llegar a tener más relevancia, al respirar un medio aéreo más denso y más difusible que el habitual, con lo cual el intercambio calórico por vía respiratoria se potencia de forma proporcional al aumento de presión.

La conjunción de todos los mecanismos anteriores supone en persona sumergida una pérdida calórica 25 veces superior a la normal, lo cual limita y condiciona su permanencia en el agua a algunos minutos o, a lo sumo, unas horas, según la temperatura del agua. El individuo sometido a largas exposiciones en el mar, aun en nuestro medio, experimenta de un modo inevitable un proceso de adaptación al frío que, si no es plenamente favorable, conlleva una disminución progresiva de la temperatura corporal con tendencia al agotamiento, al colapso, la pérdida de atención, alteraciones cardiológicas y, luego, de conciencia, que desembocarán finalmente en el estado de hipotermia. El buceador protege su cuerpo con *trajes isotérmicos* de neopreno y derivados. Se trata de una goma espumosa de baja conductibilidad térmica que contiene gran cantidad de microburbujas de aire en su interior. Los trajes isotérmicos pueden ser abiertos o cerrados, y secos o húmedos. Los

más habituales son los trajes no herméticos que limitan la penetración del agua, pero sobre todo la inmovilizan manteniendo confortable la temperatura del cuerpo. En aguas frías o para permanencias muy prolongadas, se utilizan trajes secos o de volumen variable, llamados así porque disponen de un mecanismo para variar el contenido de aire dentro del traje, compensándolo con la presión exterior y manteniendo un volumen adecuado en cada fase de la inmersión. Un mecanismo valvular, manual o automático, permite eliminar el aire sobrante y evitar así una velocidad excesiva por hiperflotabilidad durante el ascenso. En el buceo profesional de gran profundidad, se utilizan trajes húmedos calientes que reciben soporte térmico y ventilatorio desde la superficie.

Anaerobiosis relativa

Los pulmones no son capaces de asimilar el contenido de oxígeno disuelto en el agua. Los mamíferos se encuentran en situación anaeróbica –sin oxígeno– debajo del agua, lo que conlleva a adoptar diversos mecanismos de adaptación a la hipoxia. La misión fundamental de estos cambios es preservar los parénquimas nobles. Los mamíferos acuáticos disminuyen su frecuencia cardíaca a fin de lentificar la circulación de la sangre y permitir un aprovechamiento mejor del oxígeno, con la disminución al mismo tiempo de su consumo. Algunos animales alcanzan hasta 12 lat/min. La *bradicardia de inmersión* es constante en todo contacto acuático y en el individuo no entrenado se estima alrededor de las 45-50 pulsaciones/min. Al mismo tiempo, se produce *vasoconstricción periférica* a fin de disminuir la cantidad de sangre que circula por las extremidades, en beneficio de los parénquimas nobles. Los mamíferos acuáticos disponen de grandes reservas de oxígeno en la *mioglobina* que es capaz de almacenar hasta el 50% del oxígeno, pero en la especie humana es poco importante. El volumen pulmonar, proporcionalmente pequeño en los humanos, limita el tiempo de apnea, que es muy prolongado en los mamíferos acuáticos.

Un entrenamiento adecuado permite a un buen deportista alcanzar pronto los 3 min de apnea, y algunos superdotados son capaces de rebasar hasta los 4 min. El buceador puede nadar a nivel de superficie, o a algunos centímetros por debajo, en posición horizontal con la cara hacia el fondo, respirando al mismo tiempo a través de un tubo curvado que comunica la boca con la superficie. El tubo respiratorio, a menudo llamado snorkel, permite una respiración bastante fisiológica y poco fatigosa. La longitud del tubo prolonga el *espacio muerto* y aumenta la *resistencia periférica respiratoria*, si es delgado; debe ser medianamente grueso y de la menor longitud posible para que permita una respiración confortable. Si el individuo adopta la posición vertical mientras respira con tubo, se añade además una leve, pero significativa, diferencia de presiones. La cavidad torácica se encuentra a unos 40 cm por debajo del nivel de la superficie, soportando más presión hidrostática que la cabeza; a través del tubo respirador penetra aire a presión atmosférica en unos pulmones comprimidos por una mayor presión exterior. El trabajo y la dificultad respiratoria aumentan de forma considerable (fig. 2).

Desde el siglo XIX, hay unos mecanismos capaces de facilitar aire a una presión equivalente a la hidrostática en cualquier nivel de profundidad, a partir de una fuente externa de aire presurizado, desde un compresor situado en la superficie, o bien de unos recipientes transportables de aire comprimido. Las botellas de aire comprimido suelen tener una capacidad entre 7 y 16 l y se cargan a 200 o 300 atmósferas. Una botella corriente en buceo deportivo puede almacenar entre 1,4 y 3,2 m³ de aire u otra mezcla sintética respiratoria, es decir, entre 1.400 y 3.200 l de gas respirable. El buceador autónomo puede permanecer debajo del agua durante períodos prolongados, sus pulmones respiran durante este tiempo a una presión superior a la atmosférica, y su organismo experimenta los efectos del incremento de presión^{7,8}. El buceador profesional de gran profundidad recibe la mezcla respiratoria, desde la superficie, mediante el conducto umbilical que transporta a veces un medio de calentamiento y el sistema de comunicaciones a cualquier profundidad^{9,10}. Con este sistema se han alcanzado profundidades superiores a los 500 m. Se reemplaza el aire por una mezcla sintética formada por helio, nitrógeno y oxígeno en proporciones variables. También hay la posibilidad de enriquecer el contenido de oxígeno de una mezcla respirable (Nitrox) a fin de retardar el umbral descompresivo, aunque esto facilita los accidentes hiperóxicos. Además, es posible utilizar dispositivos en circuito cerrado que reciclan el oxígeno de la mezcla y retienen el dióxido de carbono en filtros absorbentes. El oxígeno puede ser tóxico cuando alcanza una presión parcial de 2 cm², lo cual ocurriría en este caso a los 10 m de profundidad^{11,12}. La intoxicación aguda por oxígeno se caracteriza por un cuadro convulsivo de gran intensidad de características parecidas a un acceso epiléptico.

Aumento de presión

Las variaciones de presión son mucho más importantes en el medio acuático que en la montaña. Es necesario ascender por encima de los 5.800 m para disminuir a la mitad la presión atmosférica, para lo cual será necesario una preparación adecuada, y un lento ascenso que requerirá un período considerable. Pero basta descender a 10 m de profundidad en el agua para duplicar la presión ambiental, lo cual puede hacer cualquier persona en escasos segundos con un mínimo entrenamiento, o a 30 m para cuadruplicarla, lo cual está al alcance de todo bu-

Figura 2. Cambios de presión abdominal e intratorácica cuando el individuo mantiene la posición erecta en inmersión con agua hasta el cuello. Respiración en hipopresión e hiperpresión abdominal.

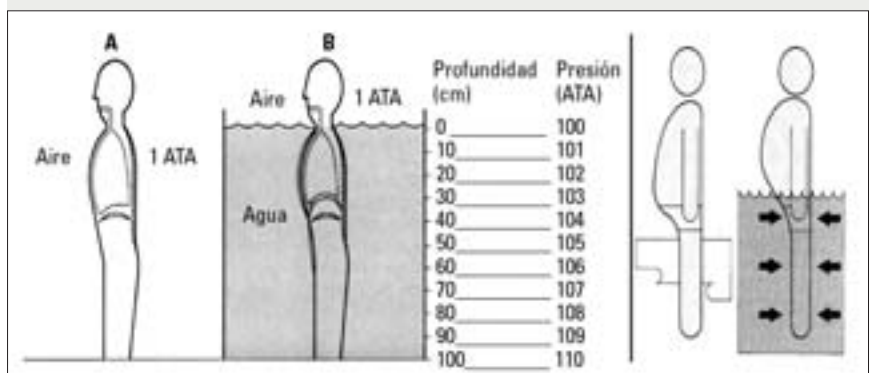


Gráfico reproducido de JANO N.º 380, 25 de julio de 1979, pág. 34 y 37.

Tabla II. Unidades de presión en sus valores equivalentes a la presión atmosférica

	Abreviatura	Unidad
1	ATA	Atmósfera absoluta
760	mmHg	Milímetros de mercurio
1.013	mbar	Milibares
1,01	bar	Bares
1,03	kg/cm ²	Kilogramos por centímetro cuadrado
101.320	Pa	Pascal
101	kPa	Kilopascal
1.013	hPa	Hectopascal
14,7	psi	Libras por pulgada cuadrada
10	m/H ₂ O	Metros de columna de agua
33	fsw	Pies de columna de agua dulce
33,9	ffw	Pies de columna de agua

ceador en menos de un minuto (fig. 3). Las variaciones ambientales de temperatura y de presión introducen modificaciones sustanciales en todos los sistemas biológicos. La mayoría de estas alteraciones son específicas y no se observan en otro campo de la medicina, por lo que con toda propiedad puede hablarse de *enfermedad disbárica* o de *disbarismos*, en relación al conjunto de trastornos ocasionados directamente por los cambios en la presión ambiental. La atmósfera ejerce una presión sobre la superficie de la Tierra similar al peso de una columna de mercurio de 760 milímetros, y es equivalente a un kilogramo por cada centímetro cuadrado de superficie. En el pasado, se han utilizado diferentes unidades de medida (tabla II), pero en la actualidad el sistema internacional de unidades¹³ recomienda la utilización del Pascal (Pa) y sus múltiplos, kilopascal (kPa) y hectopascal (hPa), como única unidad de referencia. Según el principio fundamental de la presión hidrostática, la presión de una columna de agua aumenta 1 at-

Tabla III. Variaciones presovolumétricas (ley de Boyle-Mariotte)

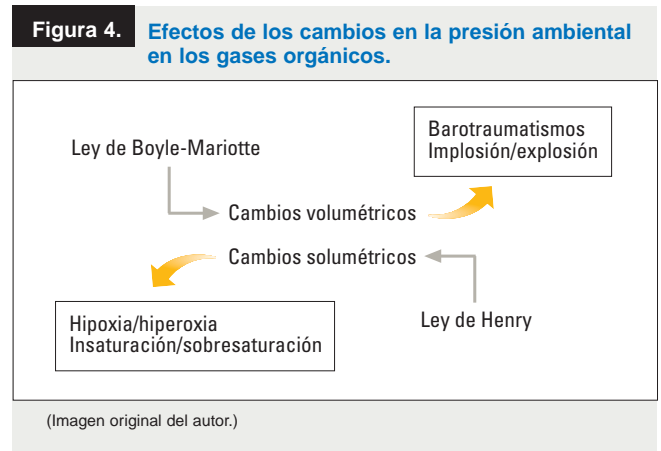
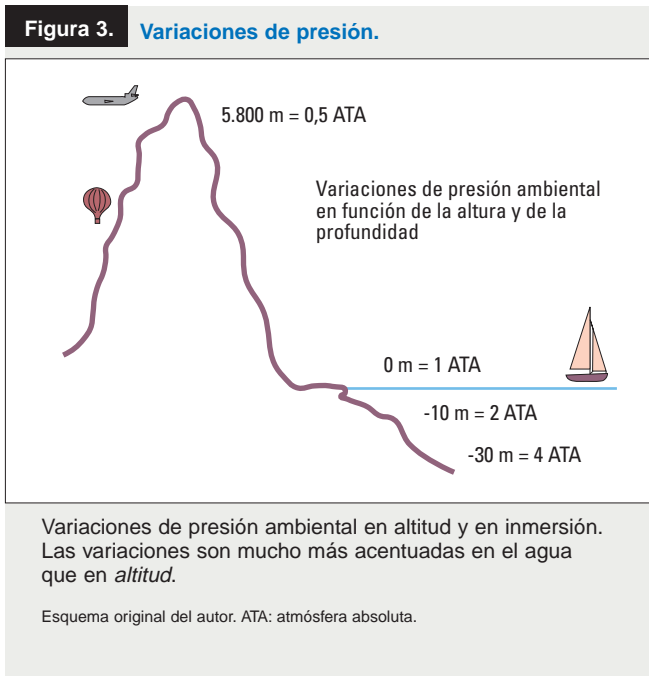
Profundidad (m/agua)	Presión (ATA)	Volumen relativo	Implosión (%)
0	1	1	100
10	2	1/2	50
20	3	1/3	33,3
30	4	1/4	25
40	5	1/5	20
50	6	1/6	16,7

ATA: atmósfera absoluta.

mósfera (101 kPa) cada 10 m de profundidad (presión relativa). La presión real que soporta todo cuerpo sumergido se incrementa además con otros 101 kPa, correspondientes al valor de la presión atmosférica, con lo cual la presión absoluta es en realidad superior en 1 atmósfera a la presión relativa. El aumento de presión modifica el comportamiento de algunos sistemas orgánicos, en especial en lo que concierne a los gases contenidos en el organismo, en los que produce variaciones físicas, o de volumen, y variaciones químicas (fig. 4).

Variaciones de volumen de los gases

La ley de Boyle-Mariotte establece que el producto del volumen que ocupa un gas y la presión a que está sometido se mantiene siempre constante. Por consiguiente, si se aumenta o disminuye la presión, disminuirá o aumentará en proporción inversa el volumen (fig. 5). Todos los espacios gaseosos contenidos en compartimentos o recipientes compresibles disminuyen de volumen al introducirlos bajo el agua. Los compartimentos dotados de paredes elásticas, como las vísceras huecas del cuerpo humano, disminuyen a la mitad su volumen a los 10 m, a la tercera parte a los 20 m, a la cuarta parte a 30 m, y así sucesivamente (tabla III). Las estructuras anatómicas experimentan en la misma medida variaciones de volumen en relación con la presión, que la mayoría de personas suelen ignorar. Los espacios y las cavidades limitados por membranas semielásticas o bien rígidas de escasa consistencia pueden experimentar desperfectos a causa de la reducción implosiva de volumen. Si el interior del espacio o cavidad es insuflado con aire a



una presión equivalente a la exterior, se restablece el equilibrio isobárico en las paredes, y la cavidad se mantiene indemne e inalterada, aunque sometida a presión elevada¹. Toda víscera hueca es susceptible de experimentar un barotraumatismo implosivo o explosivo. Las cavidades aéreas que no están en contacto con las vías respiratorias –tracto intestinal, vejiga urinaria, elementos quísticos cerrados– en condiciones normales deben recuperar su volumen inicial cuando se restablezcan los valores basales de presión ambiental. Toda persona que se sumerge en el agua conteniendo la respiración, experimenta una reducción de sus volúmenes pulmonares inversamente proporcional a la profundidad de la inmersión. Por el contrario, los pulmones y las vías aéreas superiores del buzo y del escafandrista reciben aire a la misma presión ambiental, que se intercambia en cada fase del ciclo respiratorio. La escafandra autónoma impone un leve aumento del trabajo respiratorio, con prolongación del espacio muerto. Bajo el agua, ambos movimientos respiratorios, inspiración y espiración, son voluntarios, muy en especial la espiración, cuyo dominio es la clave de una actividad subacuática sin problemas.

Variaciones de solubilidad de los gases

Según la ley de Henry, todos los gases tienden a disolverse en los líquidos en contacto, de un modo proporcional a la presión parcial del gas a nivel de la superficie del líquido. La presión real –o presión parcial– que actúa en cada componente del aire u otro medio respiratorio, corresponde a su concentración en la mezcla, tal como establece la ley de Dalton (tabla IV). Un sistema biológico multicompartimental contendrá, en consecuencia, disueltos en sus tejidos los gases integrantes del medio respiratorio². Pero el reparto de los gases por los diversos compartimentos orgánicos dependerá además de las características de *perfusión*, *difusión* y *solución*. El oxígeno es transportado a todo el organismo por la hemoglobina eritrocitaria. En el proceso de *hematosis*, la carbaminhemoglobina cede el dióxido de carbono que es desplazado por el oxígeno formando *oxihemoglobina*. El sobrante de oxígeno no utilizado se elimina por vía respiratoria. El nitrógeno es un *gas inerte*, es decir, no se combina ni se metaboliza, sino que permanece en disolución en el organismo sin intervenir en ninguna reacción bioquímica. Los gases inertes penetran en el organismo por vía respiratoria y de allí pasan a la sangre, donde per-

Profundidad (m/H ₂ O)	Presión absoluta (ATA)	Presión parcial de nitrógeno (ATA)	Presión parcial de oxígeno (ATA)
0	1	0,8	0,2
10	2	1,6	0,4
20	3	2,4	0,6
30	4	3,2	0,8
40	5	4,0	1,0
50	6	4,8	1,2
60	7	5,6	1,4
70	8	6,4	1,6
80	9	7,2	1,8
90	10	8,0	2,0

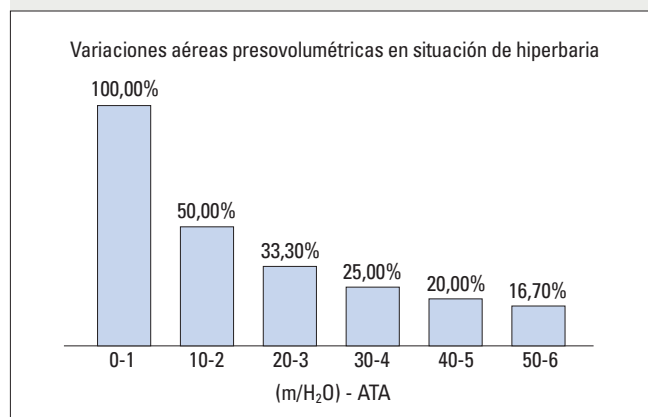
ATA: atmósfera absoluta.

manecen disueltos en la sangre. Dependiendo de la tasa de perfusión de cada tejido, de su coeficiente de solubilidad y de su presión parcial, el gas tiende a disolverse en cada tejido hasta alcanzar el estado de *saturación*, es decir, la situación en que cada tejido solubiliza la mayor cantidad posible de gas para un valor determinado de presión parcial, o, lo que es lo mismo, cuando la presión de gas disuelto iguala a su presión parcial. El nitrógeno es más liposoluble que hidrosoluble. Un volumen determinado de grasa puede contener 5 veces más nitrógeno disuelto en ella que el mismo volumen de sangre. Por este motivo, la mitad del nitrógeno disuelto en el organismo humano se encuentra en el tejido adiposo, a pesar de que éste integra entre el 15 y el 25% del total de la anatomía. La tasa de perfusión de las grasas es en cambio muy lenta, lo que condiciona que frente a las variaciones de la presión parcial del nitrógeno los tejidos grasos tardan bastante tiempo en alcanzar el estado de saturación^{14,15}. Al disminuir la presión del gas durante la emersión, se elimina de forma rápida el sobrante de nitrógeno u otro gas inerte que permanecía acumulado en la sangre. El nitrógeno abandona los tejidos con la misma lentitud con que había llegado a ellos, y en circunstancias normales precisa un período que está en función de la presión máxima alcanzada y del tiempo que se ha mantenido el incremento de presión. Si el retorno a las condiciones isobáricas no se hace de forma lenta y pausada, pueden cambiar de un modo precipitado de estado, pasar a forma gaseosa y dar lugar a un fenómeno de microembolia gaseosa.

Fisiología respiratoria subacuática

El buceador respira una mezcla –generalmente aire atmosférico– de composición constante transportada en unos recipientes de alta presión (200 kg/cm²), adosados a su espalda a modo de mochila. El *regulador automático de presión* suministra en todo momento el aire a la misma presión que la hidrostática a ese nivel. El buceador inspira mediante una pieza bucal acoplada al tubo de suministro y espira por la misma boquilla gracias a un mecanismo valvular que expulsa el aire espiratorio del circuito. La longitud de ese tubo varía con los diferentes modelos de aparatos respiradores, pero en cualquier caso

Figura 5. Variaciones del volumen de los gases en función inversa de los cambios de presión ambiental (ley de Boyle Mariotte).



ATA: atmósfera absoluta.

Tabla V. Mecanismos fisiológicos de adaptación al medio acuático

Bradycardia
Vasoconstricción arterial periférica
Aumento del retorno venoso
Hipertensión abdominal relativa
Respiración en hipopresión

Tabla VI. Repercusiones respiratorias en la inmersión con escafandra autónoma

Inspiración pseudopasiva
Espiración activa
Presión espiratoria positiva
Aumento de densidad aérea
Aumento del trabajo respiratorio
Incremento de la pérdida calórica
Hiperoxia
Sobresaturación de gas inerte

constituye una prolongación de las vías aéreas superiores y, en consecuencia, un *aumento del espacio muerto*. El buceador deportivo siempre respira por la boca y debe realizar una leve succión inspiratoria y una relativamente fuerte espiración para vencer el mecanismo de expulsión. Diferentes tipos comerciales de aparatos permiten una dinámica ventilatoria más o menos suave, pero que en ningún caso debería sobrepasar unos valores máximos de presión de 7,5 y 2,9 cm H₂O/l/s, respectivamente, para la inspiración y la espiración.

En el buceo con escafandra, la espiración nunca es pasiva¹. La densidad de la mezcla respiratoria es otro factor constituyente de la disnea de inmersión que sólo el entrenamiento adecuado del individuo y la utilización de un equipo en óptimas condiciones permiten reducir al mínimo. La capacidad vital y el volumen pulmonar total disminuyen entre un 3 y un 9%. El volumen espiratorio de reserva puede quedar reducido al 60%. En el buceo de gran profundidad, el aumento de densidad hace muy fatigosa la respiración a partir de los 70 m. Este hecho, y la aparición de una alteración conductual causada por la densidad de los gases inertes, que se conoce como *narcosis de las profundidades* –término por completo erróneo e inadecuado–, obligan a utilizar mezclas respiratorias con otros gases inertes. El helio presenta la mejor relación ventajas/inconvenientes gracias a su baja densidad, que permite una respiración relativamente cómoda incluso a grandes profundidades. Pero el helio distorsiona la fonación, aumenta en gran medida la pérdida calórica respiratoria, y tiene un precio muy elevado.

Todo este conjunto de variaciones ambientales supone un auténtico reto para un organismo animal, que debe desarrollar complicados mecanismos de adaptación (tabla V), los cuales, si no fueran el resultado de una demanda fisiológica ambiental, aisladamente constituirían un trastorno del que se derivarían diferentes anomalías orgánicas (tabla VI). Es decir, *el buceador con escafandra se encuentra en un estado fisiológicamente patológico*¹⁶.]

Bibliografía

- Garrido Marin E, Lores Obradors L, Desola Alà J. Trastornos derivados de factores ambientales : altitud, contaminación ambiental, vibraciones, medio acuático. En: Farreras-Rozman, editores. Medicina interna. 15.ª ed. Madrid: Harcourt; 2004. p. 2631-26.
- Escrich Escriche E, Solas García M, Desola Ala J. Fisiología de la respiración en ambientes especiales. En: Tresguerres JAF. Fisiología humana. 3.ª ed. Barcelona: McGraw Hill; 2005. p. 663-72.
- Desola J. Celerius, profundius, periculosius. Med Clin (Barc). 1995;104:739-41.
- Underwater Engineering Group. Thermal stress of divers. Offshore Res Focus. 1983;37:2-3.
- Doubt TJ. Cardiovascular and thermal responses to SCUBA diving. Med Sci Sports Exerc. 1996;28:581-6.
- Leffler C. Effect of ambient temperature on the risk of decompression sickness in surface decompression divers. Aviat Space Environ Med. 2001;72:477-83.
- Tetzlaff K, Thorsen E. Breathing at depth: physiologic and clinical aspects of diving while breathing compressed gas. Clin Chest Med. 2005;26:355-80.
- Dillard TA, Ewald FW Jr. The use of pulmonary function testing in piloting, air travel, mountain climbing, and diving. Clinics Chest Med. 2001;22:795-816.
- Lemaître F, Bedu M, Coudert J. Pulmonary function of recreational divers: a cross sectional study. Int J Sports Med. 2002;23:273-8.
- Jackson R. Understanding the basics of diving-related respiratory problems. J Respir Dis. 2000;21:613-8.
- Mitchell S. Oxygen toxicity in deep air diving. Undersea J. 2000;34-6.
- Acott C. Oxygen toxicity: A brief history of oxygen in diving. SPUMS J. 1999;29:121-80.
- International System of Units. Use of SI Units in Medicine. Organización Mundial de la Salud. 30.ª Asamblea Mundial. Ginebra 1977. WHO Official Records, N.º 240, May 1977. p. 21-2.
- Desola J. Enfermedades disbáricas – disbarismos. Rev Clin Esp. 1995;195:741-2.
- Desola Ala J. ¿Medicina subacuática? Med Clin (Barc). 1990; 94:377-80.
- Desola J, Balague A. Gasometric, biochemical, and metabolic variations detected after scuba-diving. Van Liew HD. Amsterdam: Joint Meeting on Diving & Hyp Med. 1990. p. 87-8.