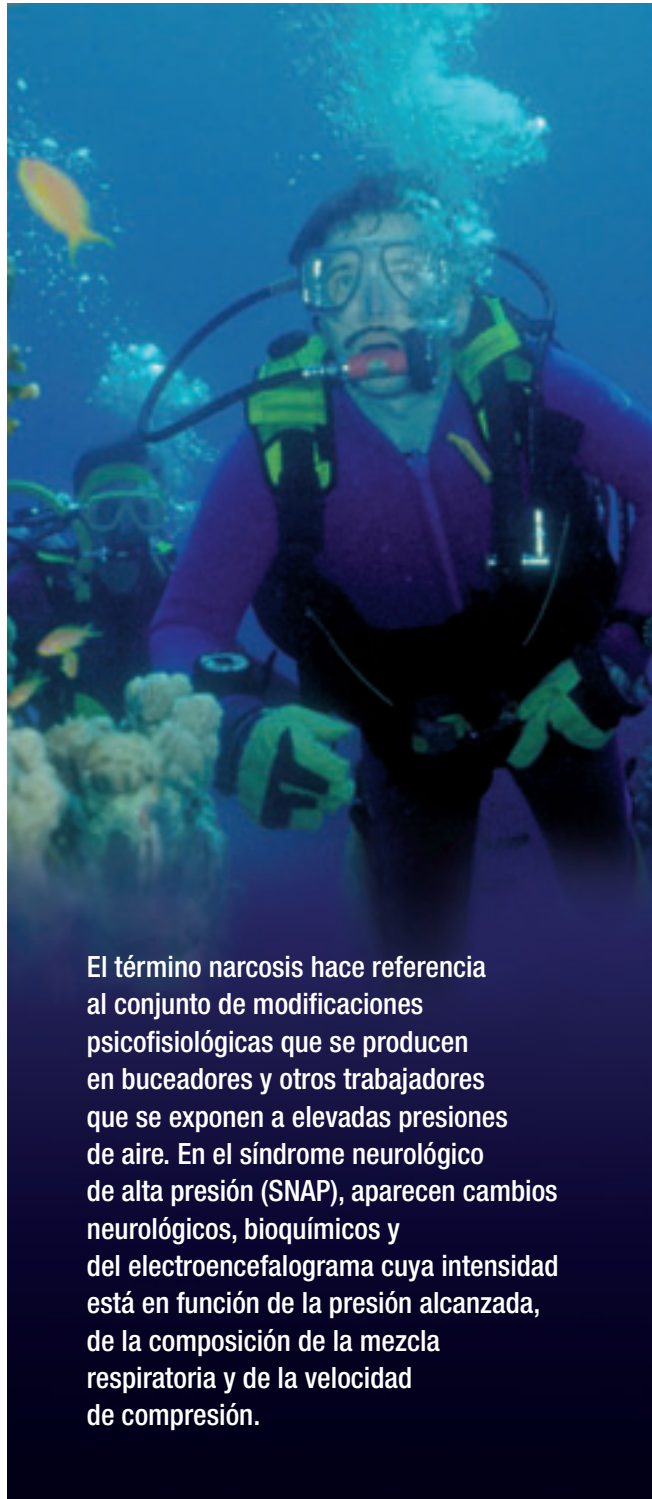


## Narcosis de los gases inertes y síndrome neurológico de alta presión

José Antonio Viqueira Caamaño<sup>a</sup> y Joaquín Colodro Plaza<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Jefe del Servicio Medicina Hiperbárica. Fundación Hospital de la Caridad. Cartagena. Murcia. España.

<sup>b</sup>Ex-jefe del Departamento de Psicología. Centro de Buceo de la Armada Española. España.



El término narcosis hace referencia al conjunto de modificaciones psicofisiológicas que se producen en buceadores y otros trabajadores que se exponen a elevadas presiones de aire. En el síndrome neurológico de alta presión (SNAP), aparecen cambios neurológicos, bioquímicos y del electroencefalograma cuya intensidad está en función de la presión alcanzada, de la composición de la mezcla respiratoria y de la velocidad de compresión.

### Narcosis de los gases inertes

En general, se admite que la respiración de aire con presión superior a 4 atmósferas absolutas (ATA), equivalentes a inmersiones a 30 mca, provoca cambios del estado de ánimo, respuestas atípicas y disminución del rendimiento similares a los que aparecen en la intoxicación etílica. Estas modificaciones suelen atribuirse a la presión parcial del nitrógeno ( $\text{PaN}_2$ ) presente en la mezcla respiratoria, por lo que se habla de narcosis nitrogenada.

Si queremos precisar, la misma intoxicación puede estar provocada por cualquiera de los gases inertes que formen parte de la mezcla respirable: helio (He), hidrógeno (H), etc., aunque los parámetros de inmersión sean diferentes; por lo que el término narcosis estrictamente se refiere a determinados efectos que provocan los gases inertes en el organismo humano. En la bibliografía técnica y científica, para el mismo concepto y según el idioma se utilizan las expresiones: intoxicación de las profundidades, éxtasis de la profundidad, borrachera de las profundidades, *l'ivresse des grandes profondeurs* o *nitrogen narcosis*. Aunque no hay un acuerdo formal sobre el concepto, se acepta que se trata de un conjunto de cambios en la conducta de los organismos expuestos a condiciones ambientales de presión aumentada, ya se trate de situaciones reales (inmersiones en el mar) o en simulador (complejo hiperbárico), que se manifiestan en respuestas atípicas y rendimiento disminuido.

### Antecedentes históricos

Durante el siglo XIX, aparecen las primeras observaciones y referencias sobre la narcosis. Las ideas acumuladas en esa época indicaban que, al respirar aire a presión aumentada, aparecían cambios emocionales y conductuales, en los que se mezclaban componentes de activación e intoxicación: algunas personas se mostraban más activas, eufóricas, imaginativas, y otras, por el contrario, más deprimidas y somnolientas; estas alteraciones desaparecían al volver a respirar aire a presión atmosférica. Actualmente, efectos tan dispares no se consideran producto de las diferencias individuales, que también aparecen, sino que podían representar las fases por las que se manifiesta la narcosis.

Un siglo después, al poder realizarse inmersiones reales con aire a gran profundidad (cerca de los 100 mca), se obtienen datos más precisos: anomalías de memoria, dificultades para comprender, razonar y tomar decisiones, confusión mental, que llegaban a poner en peligro la vida del buceador. Se interpretaron como consecuencia de la lentificación de los procesos cerebrales superiores, con apariencia de semipérdida de con-

**Tabla I. Clínica observable en función de la presión parcial de nitrógeno**

pPN <sub>2</sub>	EAD	Sintomatología
1,6-3,2 bar	2-4 ATA	Euforia, dificultad media en procesos mentales superiores
3,2 bar	4 ATA	Dificultades en atención, memoria y razonamiento Retraso de respuestas visual y motora
3,2-4,8 bar	4-6 ATA	Excitación con risa fácil y locuacidad Fijación de ideas y frecuentes errores
4,8 bar	6 ATA	Adormecimiento, alucinaciones, alteración del juicio
6,4 bar	8 ATA	Empeoramiento grave de funciones intelectuales Dificultades en destreza manual
6,4-8,0 bar	8-10 ATA	Alteraciones de respuesta a estímulos, disminución de concentración, confusión mental
8,0 bar	10 ATA	Hiperexcitabilidad, empeoramiento de actividad mental y memoria, deterioro de escritura, estupefacción
> 8,0 bar	> 10 ATA	Alucinaciones severas. Inconsciencia

ATA: atmósfera absoluta; EAD: presión equivalente de aire en atmósferas absolutas (EAD, del inglés *equivalent air depth*); PaN<sub>2</sub>: presión parcial de nitrógeno.

ciencia, y se buscaron soluciones, entre las que destacaron la ventilación frecuente (para eliminar impurezas del aire) y la selección de personal (para descartar tendencias claustrofóbicas), que guardan relación con la hipótesis de la interacción del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y de la susceptibilidad individual.

En la misma década, aparecen 2 trabajos trascendentales para la investigación: por primera vez, se atribuye<sup>1</sup> la narcosis al aumento de la PaN<sub>2</sub>, con disminución de la profundidad (3 ATA) en la que los efectos de la intoxicación eran observables; detectaron cambios conductuales, indicios de euforia, retraso de los procesos mentales superiores y deterioro de la coordinación visomotora, que se incrementaban al aumentar la profundidad (4 ATA), con lo que era más evidentes las sensaciones de excitación y los efectos conductuales: aumento del tiempo de reacción, dificultades de atención y concentración, defectos de memoria y deficiencias en otras tareas intelectuales, que solamente se podían solventar con gran esfuerzo y autocontrol. En la mayor profundidad (10 ATA), se observaba un estado de conciencia próximo a la estupefacción, ante el que el buceador no podía reaccionar de forma autónoma. También indicaron que los cambios aparecían al alcanzar las cotas estudiadas (3 y 4 ATA) y que no aumentaba la intensidad de los síntomas si se mantenía a la misma profundidad (aspecto que podía refutar su hipótesis explicativa de la narcosis). Asimismo, se publicó<sup>2</sup> el primer intento de cuantificación de los efectos que se atribuían a la narcosis en una muestra amplia de buceadores, que realizaban tareas motoras, perceptivas e intelectuales en inmersiones entre 4 y 10 ATA. En este estudio se comprobaron las diferencias individuales (en que la capacidad intelectual y la experiencia en buceo eran las principales variables mediadoras) y la importancia de la velocidad de compresión. Ambos trabajos dieron lugar a multitud de hipótesis que posteriormente se han puesto a prueba: efectos de la presión aumentada en el aprovechamiento de las aptitudes humanas, papel de la velocidad de compresión, evolución durante la exposición y en la fase de descompresión, diferencias individuales (experiencia, capacidad, edad, motivación, etc.) y otros factores que puedan ser variables moduladoras (trabajo, temperatura, lugar de inmersión, etc.).

En esos años, se inicia el estudio de los efectos del argón (A) (con efectos más llamativos que los del nitrógeno [N<sub>2</sub>]) y

del He (cuyos efectos no eran observables hasta alcanzar presiones bastante más elevadas), sin que faltaran datos relativos a otros gases (H o kriptón [Kr]). A partir de esos estudios se dedujo que con PaN<sub>2</sub> próximas a 4 ATA aparecen cambios intelectuales (elaboración de información, memoria, razonamiento y decisión), perceptivos (captación de información y tiempo de reacción) y motores (coordinación, destreza manual y digital) de entidad suficiente como para utilizarlos como límites de seguridad en inmersiones con aire, y que, si se utiliza el aire comprimido hasta valores en los que la PaN<sub>2</sub> sea superior a 10, aparecen pérdidas de conciencia, por lo que es posible utilizar el aire comprimido como gas anestésico.

### Signos y síntomas

Los efectos de la narcosis se han comparado con los provocados por la intoxicación alcohólica y con los de las primeras fases de la hipoxia y anestesia. Se han descrito alteraciones de humor y afectividad (hipomanía, agresividad, irritabilidad, atrevimiento, locuacidad, hilaridad, etc.), alteraciones de conciencia (contemplación autística, inconsciencia de situación, falta de respuesta ante órdenes verbales, amnesia, disminución de memoria mediata, dificultades de atención, concentración y asociación, disminución de la capacidad de juicio), alteraciones perceptivas (desorganización de percepción espacio-temporal, ecolalia, reverberación auditiva, distorsión de contraste figura-fondo, distorsión de estímulos visuales y auditivos), alteraciones motoras (disminución de destreza digital, reducción de movimientos, entumecimiento, aumento de salvación, dificultades de coordinación visomotora, náuseas y vómitos) y alteraciones del rendimiento (disminución generalizada).

Aunque se admite una amplia variabilidad interindividual, los signos de narcosis suelen mostrar la evolución que se resume en la tabla I. Además, se ha constatado que desaparecen durante la descompresión y no hay rastro de ellos en superficie, ni siquiera en el recuerdo del buceador si el grado de narcosis ha sido importante.

### Etiopatogenia de la narcosis de los gases inertes

Las hipótesis sobre las causas y los mecanismos de la narcosis provocada por gases inertes y, de modo concreto, la provoca-

da por el  $N_2$  cuando se respira aire comprimido, incluyen: *a)* la teoría de Meyer-Overton, que relaciona el poder narcótico de los gases inertes con su capacidad de solubilidad en los lípidos; *b)* la teoría del peso molecular, no demostrada, según la cual a mayor peso molecular mayor poder narcótico debido a que el aumento de densidad de los gases provocaría retención tisular de  $CO_2$  e hipoxia histotóxica; *c)* la teoría del volumen crítico, que causaría expansiones neuronales tras absorber gases inertes; *d)* la teoría de los hidratos, que explica que estos cuadros se deben a estructuras complejas entre las moléculas de agua y los gases inertes; *e)* la teoría física, según la cual los gases inertes actuarían en las zonas hidrofóbicas de las células y sus enzimas; *f)* la teoría bioquímica, que trata de explicar alteraciones en la liberación de neurotransmisores, del  $O_2$  mitocondrial y de la bomba de sodio, produciendo depresión del sistema nervioso central (SNC) y, finalmente, *g)* la denominada teoría neurofisiológica, que explicaría la narcosis como una alteración de la conducción axonal y las transmisiones sinápticas. Todas ellas demuestran que la fisiopatología es compleja y poco conocida en su conjunto.

La teoría particular más extendida y aceptada<sup>3</sup> es que la narcosis está provocada por la elevada presión parcial del gas inerte,  $N_2$  en el caso de buceo autónomo con aire, con implicación en los procesos de neurotransmisión de proteínas, como propone la teoría bioquímica. Sin embargo, desde los primeros estudios sobre el rendimiento humano con presión aumentada, se ha afirmado repetidamente que hay un proceso de adaptación humana a la narcosis, favorecido por partir de una situación de saturación o por la repetida exposición a las condiciones hiperbáricas.

## Efectos en el rendimiento y la conducta

Ante este panorama y con la mirada puesta en la posibilidad de desarrollar técnicas de buceo que compensaran los efectos negativos en el rendimiento y la conducta de los buceadores, en el Centro de Buceo de la Armada (CBA) española la investigación en este campo se ha dirigido a comprobar la hipótesis de que estos efectos posiblemente no estén tan relacionados con la toxicidad del gas inerte, como que sean consecuencia de deficiencias del proceso de adaptación humana al aumento de la presión. Para ello, Antonio de Lara et al llevaron a cabo los proyectos TONOFOND y NARCOFOND<sup>4-6</sup>.

El Proyecto TONOFOND (1972-1975) consistió en realizar 10 inmersiones a saturación en el complejo hiperbárico del CBA a 15, 20 y 25 m, con permanencias entre 3 y 10 días, utilizando distintas mezclas artificiales respirables (concentraciones de 86/14%, 88/12% y 90/10% de  $N_2/O_2$ ) e intervenciones hasta 40 y 80 m. Los participantes ( $n = 28$ ) manifestaron que en las inmersiones realizadas a 80 m desde la profundidad de saturación no experimentaban los efectos asociados a la narcosis, típicos de las inmersiones de intervención desde superficie, comparando la experiencia subjetiva con una inmersión a 20-30 m. Estos datos apoyaban la hipótesis de que se puede desarrollar cierta capacidad de adaptación ante la narcosis, al comprobar que se podía conseguir una adaptación positiva al medio hiperbárico y que no aparecía clínica significativa en inmersiones a 80 m, partiendo de saturación a menor profundidad.

Con el Proyecto NARCOFOND (1979-1984) se desarrolló un conjunto de inmersiones de intervención en cámara hiperbárica, distribuidas en 2 fases, para el estudio de la narcosis. En la primera fase, se realizaron 12 inmersiones a 70-80 m en

las que se emplearon diferentes tipos de descenso y velocidades de compresión, y los 4 buceadores participantes en cada una de ellas realizaron tests psicológicos (intelectuales, perceptivos y motores) durante 30 min. Los datos indicaron que la disminución del rendimiento fue mayor en las inmersiones con descenso lineal rápido (24 m/min), lo que apoya la hipótesis de la adaptación a la narcosis. En la segunda fase, se realizaron 6 inmersiones a 75 m en cámara, en las que se emplearon diferentes mezclas respirables (aire, nitrox y  $He-O_2$ ), y en cada una participaron 5 buceadores que realizaron el mismo tipo de tests psicológicos durante 30 min. Los datos también apoyaron la hipótesis de la adaptación a la narcosis, al obtenerse la mayor disminución del rendimiento en las inmersiones con aire, y el cambio del método de trabajo.

## Datos conocidos

Aunque la investigación en condiciones hiperbáricas presenta especiales dificultades metodológicas impuestas por las características del medio hiperbárico, lo que favorece la variabilidad de datos, se admite que en inmersión se producen cambios en la conducta del buceador, relacionados con la seguridad, y que el rendimiento humano disminuye gradualmente a medida que aumenta la presión del aire respirado, que se manifiesta en un funcionamiento mental más lento, dificultad para realizar tareas simultáneas, disminución de la capacidad de memoria, aumento del tiempo de reacción y de los errores al realizar actividades intelectuales o psicomotoras, etc., sin que resulten alteradas las habilidades subyacentes.

Hay multitud de trabajos que han servido para conformar este cuerpo de conocimientos y excelentes revisiones<sup>7-10</sup>, cuyos datos parecen coincidir en que se produce una disminución progresiva del rendimiento a medida que aumenta la presión, empezando a manifestarse deterioro a partir de 4 ATA, y los 30 mca es la profundidad aceptada con carácter unánime como zona de comienzo de los problemas asociados con la narcosis, y en que hay ciertos procesos de adaptación.

Desde el punto de vista conductual, la narcosis se manifiesta inicialmente con sentimientos de euforia y bienestar, importante pérdida de la noción de realidad y una confianza excesiva en las propias capacidades; posteriormente, si no se interrumpe su curso, se invierten los sentimientos, que pasan a asemejarse a estados maníaco-depresivos, con alucinaciones y pérdida de la noción del tiempo y espacio, y puede llegarse a la inactividad acentuada y pérdida de conciencia. Ambas fases guardan similitud con la intoxicación alcohólica, pero se diferencia de ésta en sus efectos residuales.

La citada disminución del rendimiento no es de tipo lineal ni uniforme, sino exponencial y diferencial: a medida que aumenta la profundidad real o simulada de la inmersión, los cambios son relativamente más pronunciados y los cambios de rendimiento se hacen más evidentes en unas aptitudes que en otras: el rendimiento intelectual tiende a disminuir en mayor proporción y de forma más repentina que el perceptivo y el motor. Aunque hay limitaciones metodológicas de la investigación ambiental en el medio hiperbárico y submarino, impuestas en ocasiones por exigencias estructurales del medio (el número de individuos disponibles), el conocimiento actual se puede resumir en los párrafos siguientes:

- En concreto y en relación con la línea de base en superficie, el rendimiento en tareas intelectuales disminuye ligeramente (10%) entre 4 y 7 ATA, y bruscamente (30%) en-

tre 7 y 10 ATA, alcanzando su mayor decremento (60%) a 13 ATA cuando se trata de tareas aritméticas simples (cálculo numérico); si se analizan datos sobre procesos mentales superiores (razonamiento concreto o abstracto), la pendiente de disminución es más pronunciada, que es del 33% a 4 ATA y mayor del 50% a 6 ATA. Estos datos apoyan la hipótesis de que, con el aumento de la presión, cuanto más compleja sea la tarea a realizar, aparecerá un deterioro mayor (fig. 1).

- Como ejemplo representativo de los cambios en tareas perceptivas, el tiempo de reacción presenta una disminución progresiva con el aumento de la presión entre 1 y 10 ATA, y se obtiene una reducción del 20% del tiempo de reacción simple a esta profundidad; en el tiempo de reacción de elección, se obtiene un valor parecido (21%) a tan sólo 4 ATA. Los datos muestran nuevo apoyo a la hipótesis de la complejidad, siendo la reducción del rendimiento menos pronunciada que con tareas de tipo intelectual (fig. 2).
- El rendimiento psicomotor sólo presenta una disminución brusca al llegar a 10 ATA, y la proporción de cambio es menor que en tareas perceptivas y considerablemente más pequeña que en las intelectuales. En inmersión real, los cambios significativos aparecen a menor profundidad (4 ATA) (fig. 3).

Resumiendo, actualmente se admite que el rendimiento del buceador respirando aire presenta modificaciones, en función de la profundidad de inmersión, velocidad de compresión y sensibilidad individual, entre otras variables de carácter general; además, se acepta que este rendimiento no presenta variaciones medias importantes en inmersiones con aire hasta los 30-40 m de profundidad, aunque los cambios son observables y cuantificables desde que se deja la superficie.

La narcosis del N<sub>2</sub> es la que más esfuerzos de investigación ha recibido en buceo, pero sus efectos son generalizables al resto de los gases inertes; se ha comprobado con el He, el neón (Ne), el A, el Kr, el xenón (Xe) y el H, los cuales producen el mismo fenómeno aunque se diferencien en su potencia narcótica. El He se ha utilizado para evitar las consecuencias del N<sub>2</sub> en profundidades superiores a 50 mca, a pesar de sus inconvenientes térmicos (conductividad), económicos (coste

de adquisición y necesidad de recuperación) o de comunicación (distorsión de la voz); pero también llega una profundidad (400 mca) donde produce efectos narcóticos, además de los relacionados con el síndrome neurológico de alta presión (SNAP) (150 mca). También se ha comprobado que el H tiene más potencia narcótica que el He, pero menor que el N<sub>2</sub> y, además, disminuye los efectos del SNAP cuando se añade a mezclas de He-O<sub>2</sub> o cuando sustituye al He en la mezcla a utilizar; las dificultades para su manipulación (riesgo explosivo) reducen su posibilidad real de empleo.

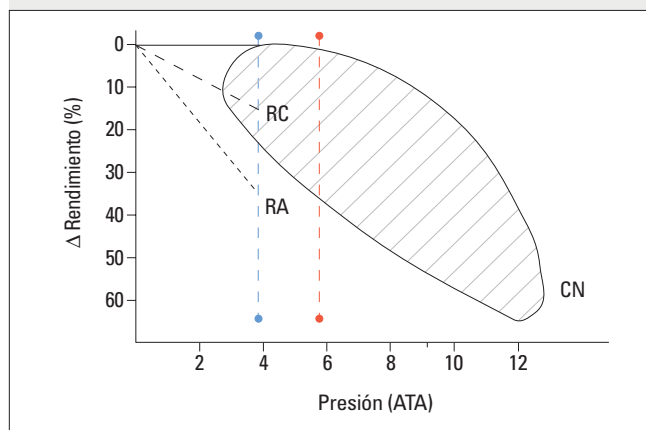
### Factores que afectan a la narcosis

Entre los factores que modifican de manera importante la visión general anterior, se encuentran el medio donde se realiza la inmersión (cámara/mar), las condiciones de descanso/trabajo del buceador, la temperatura del agua, la experiencia en buceo, el punto de partida en saturación, la práctica en tareas a realizar, el uso de drogas y las características personales.

Los puntos de más consenso son los siguientes:

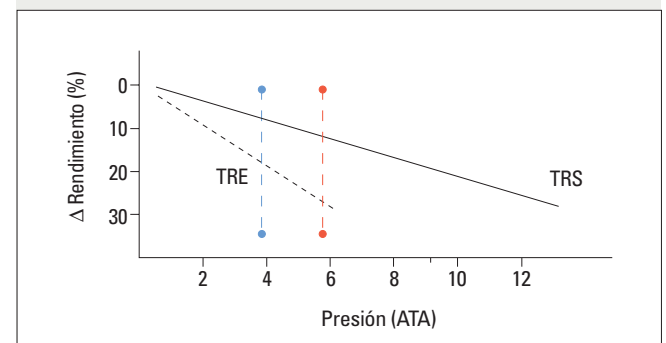
- Susceptibilidad individual: la narcosis por N<sub>2</sub> aparece a profundidades mayores de 30 m, con cierta variabilidad individual.
- Adaptación: el entrenamiento o inmersión periódica a distintas profundidades permite retrasar y/o disminuir la intensidad de la sintomatología.

**Figura 1. Modificación del rendimiento intelectual.**



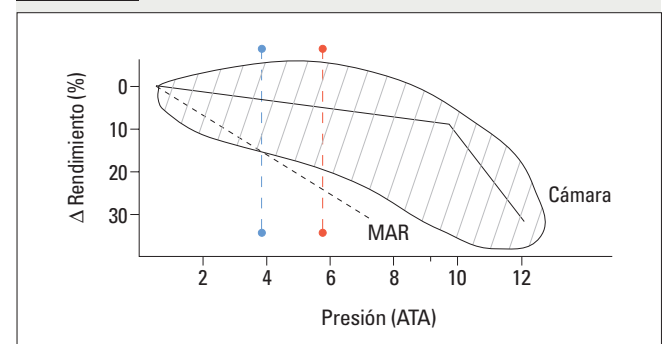
ATA: atmósfera absoluta. CN: cálculo numérico; RA: razonamiento abstracto; RC: razonamiento concreto.

**Figura 2. Modificación del rendimiento perceptivo.**



ATA: atmósfera absoluta; TRE: tiempo de reacción de elección; TRS: tiempo de reacción simple.

**Figura 3. Modificación del rendimiento motor.**



ATA: atmósfera absoluta.

- Empeoramiento de los cuadros de narcosis: a él contribuyen alcohol, sedantes, frío, fatiga, trabajo pesado, ansiedad, retención de CO<sub>2</sub> y falta de referentes externos en las inmersiones.
- Mejora de la clínica de narcosis: descenso lento, entrenamiento y aclimatación.

## Prevención de la narcosis de los gases inertes

La medida preventiva ideal es la limitación del buceo autónomo con aire a la profundidad a la que comienzan a ser evidentes las disminuciones del rendimiento y signos de narcosis. Administrativamente, no se ha contemplado esta posibilidad, entre otras razones porque no se tendrían en consideración variables tan importantes como la experiencia en buceo u otras características personales que influyen en la adaptación submarina (fig. 4). Paradójicamente, la reglamentación profesional española es más restrictiva que la referida al buceo deportivo, donde se permiten inmersiones con aire a 60 m de profundidad.

Entre las medidas compensatorias, destacan el cambio de técnica de buceo y la sustitución del gas inerte, con el empleo de equipos en conexión con superficie y mezclas respirables distintas (nitrox o heliox) cuando se pretenden conseguir profundidades mayores de 50 m. El inconveniente es su complicación técnica y su coste económico. En la práctica, la prevención de riesgos y la eficacia en inmersión se obtienen mediante medidas de carácter distinto a las administrativas y que no impliquen exigencias técnicas o económicas extraordinarias: realización periódica de inmersiones, decisión en superficie sobre los aspectos más importantes de la inmersión, descenso lento en función de las necesidades operativas, realización previa del trabajo en superficie o a pequeña profundidad, empleo de referencias externas y selección del personal. En el caso de presentarse indicios de narcosis, la medida más adecuada es la disminución de profundidad, ya que el ascenso de unos metros puede ser suficiente para evitar sus complicaciones, o el aborto de la inmersión.

En resumen, por narcosis de los gases inertes se entiende un conjunto de cambios en la conducta de los individuos ex-

puestos a condiciones ambientales de presión aumentada, respirando aire o cualquier otra mezcla respirable, en inmersiones reales o en simulador (complejo hiperbárico), que se manifiestan en respuestas atípicas y rendimiento disminuido similares a las de otras intoxicaciones.

Desde su descripción inicial en 1835, se han acumulado datos descriptivos y experimentales que conforman un cuadro general de las modificaciones que se producen en las personas expuestas a condiciones hiperbáricas, consistentes en cambios conductuales y disminuciones del rendimiento que ponen en riesgo la seguridad del buceador y la utilidad del trabajo submarino. Desde el punto de vista conductual, la narcosis se manifiesta inicialmente con sentimientos de euforia y confianza excesiva en las propias capacidades y, posteriormente, con alucinaciones y pérdida de la noción del tiempo y espacio, que puede llegar a la inactividad acentuada y la pérdida de conciencia. Los cambios de rendimiento son relativamente más pronunciados a medida que aumenta la profundidad o la presión, y se hacen más evidentes en las aptitudes intelectuales en el caso de respirar aire. No hay acuerdo sobre las causas de producción de la narcosis, aunque la opción más plausible hace referencia a la PaN<sub>2</sub>, con un mecanismo neuroquímico y un proceso de adaptación. Se admite que la narcosis es evidente a partir de 30 m, que está mediada por factores muy variados que pueden potenciarla, que hay medidas de prevención y que sus manifestaciones desaparecen durante la descompresión. Entre los factores que influyen en la narcosis se encuentran las condiciones de la inmersión, la experiencia en buceo, la personalidad y la capacidad intelectual del buceador, la práctica en la tarea, la condición de descanso o trabajo del buceador, el tipo y la velocidad de descenso, etc.

La investigación española ha tratado de desarrollar técnicas de buceo que compensen los efectos negativos en el rendimiento y la conducta de los buceadores, a partir de disminuir las deficiencias del proceso de adaptación humana al aumento de la presión por medio de factores de tipo emocional, motivacional y experiencial, que disminuyan los efectos de la narcosis, y con el manejo variables como la susceptibilidad individual, el entrenamiento y la formación adecuada, el sobreaprendizaje de tareas, la planificación en superficie, el tipo de descenso, la limitación de profundidad, el empleo de técnica o sistema de buceo idóneo, la eliminación de factores negativos (alcohol, medicación, frío, sobrecarga de trabajo o ansiedad) y la selección de personal.

Figura 4. Panel de control. Simulador hiperbárico de la UIS/Centro de Buceo de la Armada española.



## El síndrome neurológico de alta presión

El sistema nervioso de los organismos vivos y de los seres humanos se ve afectado por las presiones medioambientales. Cuando éstas son muy elevadas, se observa en buceadores y animales de experimentación un síndrome de etiología compleja denominado SNAP, "temblores del helio", o con las siglas HPNS en las publicaciones en inglés. En el SNAP, aparecen cambios neurológicos, bioquímicos y del electroencefalograma (EEG) cuya intensidad está en función de la presión alcanzada, de la composición de la mezcla respiratoria y de la velocidad de compresión. Lo describió por primera vez Zaltsman en la Unión Soviética en 1961<sup>11</sup>, y luego Brauer y Bennet<sup>12-14</sup> lo estudiaron bien. Es propio de inmersiones con mezclas de He-O<sub>2</sub> a partir de 100 m de profundidad (11 ATA) y va acompañado de alteraciones neurológicas, psicológicas y del EEG.

## Bases biológicas y etiopatogenia

Todos los mamíferos y el hombre, cuando respiran aire a presiones superiores al valor de la atmósfera, presentan, a partir de 30 m (4 ATA), alteraciones neuropsicológicas denominadas genéricamente "narcosis" o "narcosis por N<sub>2</sub>". Esta clínica se observa con todos los gases inertes y su grado se relaciona con la solubilidad en los lípidos y su peso molecular, para cada uno de los gases, lo que da lugar a un efecto que va desde el menos (He, Ne, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, A, Kr y Xe) al más narcótico. Esa es la razón por la que se utilizan el He y H<sub>2</sub> en mezclas profundas, al ser muchos menos narcóticos que el N<sub>2</sub>, además de algunas ventajas de tipo respiratorio.

Las mezclas de He-O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> en diferentes proporciones de los gases se han estudiado de forma amplia tanto en el hombre como en animales<sup>15</sup>. Desde los años cuarenta, es bien conocido que los gases anestésicos pierden sus efectos a altas presiones, por lo que se supuso que, al añadir un gas más narcótico a la mezcla respiratoria, disminuirían los efectos de la presión en el organismo, debido a la expansión de las membranas celulares, en contraposición a la contracción de éstas por los anestésicos. Sin embargo, uno de los autores que más ha estudiado este fenómeno, Rostain<sup>16</sup>, observó que la adición, como antagonista, de N<sub>2</sub> a las mezclas mejora algunos signos, como el temblor, y aumenta otros, como las alteraciones del EEG.

La clínica del SNAP se debe a la presión per se y a diferentes mecanismos en el ámbito cerebral, en el que se describen alteraciones en la liberación de factores en las transmisiones sinápticas: ácido gammaminobutírico, dopamina, serotonina y acetilcolina<sup>17</sup>. Otro fenómeno característico es que, una vez que aparece la clínica, permanece a la misma presión y des-

aparece si disminuye, excepto la letargia y las alteraciones en la memoria, que pueden tardar más tiempo en volver a la normalidad. Una vez que se retorna a los valores de presión atmosférica, no se observan secuelas del SNC, ni daños histopatológicos.

El SNAP presenta variaciones intraespecies e interespecies. La clínica de tipo neurológico aparece a distinta profundidad: temblores (200 m) y las alteraciones del EEG > 300 m.

El temblor representa una hiperexcitabilidad del SNC, es de tipo central, difiere en frecuencia de la enfermedad de Parkinson (3-8 Hz). Las convulsiones son de origen subcortical y similares a las de tipo mioclónico en la uremia. La compresión lenta, las paradas durante ésta y el mantenimiento de determinados valores de N<sub>2</sub> durante las paradas retrasan mucho la aparición del SNAP y, en humanos, han permitido alcanzar profundidades en mar abierto de 520 y de 700 m en simuladores. Las experiencias HIDRA, a partir de 1983 entre la empresa COMEX y la Armada francesa, han añadido a las mezclas habituales de buceo profundo un nuevo gas: el hidrógeno. Su bajo peso molecular mejora la densidad de las mezclas y el trabajo respiratorio, además de reducir de forma considerable los "temblores del helio". Es preciso recordar que no debe utilizarse fuera de la experimentación profesional, debido a que forma mezclas explosivas con valores superiores al 4%<sup>18</sup>. A modo de resumen, se puede decir que las causas del SNAP se deben al exceso de presión en el SNC de modo primario y también a la velocidad de compresión, ya que cuando ésta es mayor, la clínica aparece antes y con más intensidad<sup>19</sup>.

## Formas clínicas

El temblor característico del SNAP aparece en las extremidades a partir de 150 m, y se observa en reposo, postural y durante el movimiento. Su frecuencia es de 8-12 Hz y es más grave en las recompresiones rápidas. La oscilación oculomotora espectacular, caracterizada por unos movimientos oculares, rápidos, involuntarios, arrítmicos, de gran amplitud y multidireccionales (*opsoclonus*) fue de los primeros signos observados del SNAP a 160 m. Las mioclonías y fasciculaciones

Figura 5. Buceo profundo.



Armada española (2007).

Figura 6. Registros electrofisiológicos en simulador de presión



(UIS/Centro de Buceo de la Armada) durante inmersiones profundas.

Armada española.

musculares, que progresan desde las extremidades a todo el cuerpo, aparecen por encima de los 400 m. Se han observado también cuadros de hiperreflexia y alteraciones de algunos reflejos, como el de Hoffman (flexión de los dedos al golpear las uñas). Los trastornos del EEG son característicos más allá de los 200 m y se traducen clínicamente en diversas alteraciones del sueño y sus fases, apareciendo una forma de "microsueño", que altera claramente los grados de conciencia y vigilancia, lo que puede poner a los buceadores en serio peligro. Finalmente, en el SNAP también se han descrito náuseas, vértigos, alteraciones cognitivas y de la memoria y cambios neuropsicológicos en algunos buceadores. El diagnóstico diferencial debe hacerse con la narcosis por gases inertes, intoxicación por O<sub>2</sub> y las formas clínicas del síndrome descompresivo.

### Tratamiento del síndrome neurológico de alta presión

El tratamiento de un paciente afectado de SNAP se basa en las consideraciones siguientes:

- Velocidad de compresión lenta, dentro de las posibilidades del trabajo a realizar.
- A mayor profundidad de 120-150 m añadir N<sub>2</sub> a las mezclas de He-O<sub>2</sub>.
- Algunos fármacos que se han utilizado a nivel experimental o en simuladores deben suprimirse en su totalidad durante las operaciones de buceo reales. ]

Trabajo dedicado a la memoria del Dr. Antonio de Lara-Muñoz Delgado (Menorca 1930-Cartagena 2003), pionero y maestro de la fisiología del buceo y la medicina subacuática e hiperbárica en España.

### Bibliografía

1. Behnke AR, Thomson RM, Motley EP. The psychologic effects from breathing air at 4 atmospheres pressure. *Am J Physiol.* 1935;112:554-8.
2. Shilling CW, Willgrube WW. Quantitative study of mental and neuro-muscular reactions as influenced by indreased air pressure. *US Nav Med Bull.* 1937;35:373-80.
3. Rostain JC, Balon N. Recent neurochemical basis of inert gas narcosis and pressure effects. *Undersea Hyperb Med.* 2006;33:197-204.
4. Lara A, García J. Inmersiones a saturación en cámara hiperbárica. *Ibérica.* 1975;161:391-3.
5. Colodro J. Rendimiento humano en condiciones hiperbáricas. Tesis de licenciatura en la Facultad de Psicología de la Universidad de Murcia; 1985.
6. García J. Aspectos biofisicos del buceo con mezclas de aire y nitrógeno o helio. Tesis doctoral en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Murcia; 1989.
7. Adolfson JA, Berghage TE Perception and performance under water. Nueva York: J. Wiley and Sons Inc; 1974.
8. Undersea Medical Society. Nitrogen narcosis: a bibliograhly with informative abstracts. Washington: UMS; 1983.
9. Fowler B, Ackles KN, Porlier G. Effects of inert gas narcosis on behavior- a critical review. *Undersea Biomed. Res.* 1986;12:369-402.
10. Bennet PB, Rostain JC. Inert gas narcosis. En: Brubakk A, Neuman T, editors. *Bennett and Elliotts' Physiology and Medicine of Diving.* London: Saunders; 2003. p. 300-22.
11. Zaltsman GL. Physiological Principles of a Sojourn of a Human in Conditions of Raised Pressure of the Gaseous Medium. Leningrad: Gosudarstvennoye Izdatelstvo Meditsinskoy Literatury. Medgiz Leningradskoye Otdeleniye; 1961.
12. Brauer RW, Dimov S, Fructus X, Fructus P, Gosset A, Naquet R. Neurologic and encephalographic syndrome of hyperbarism. *Rev Neurol (Paris).* 1969;121:264-5.
13. Brauer RW, Way RO. Relative narcotic potencies of hydrogen, helium, nitrogen and their mixtures. *J Appl Physiol.* 1970;29:23-31.
14. Bennett PB, Coggin R, Roby J. Control of HPNS in humans during rapid compression with trimix to 650 m. *Undersea Biomed Res.* 1981;8:85-100.
15. Balon N, Kriem B, Dousset E, Weiss M, Rostain JC. Opposing effects of narcotic gases and pressure on the striatal dopamine release in rats. *Brain Res.* 2002;947:218-24.
16. Rostain JC, Balon N. Recent neurochemical basis of inert gas narcosis and pressure effects. *UHMS.* 2006;33:197-204.
17. Abiraini JH, Kriem B, Balon N, Rostain JC, Risso JJ. Gamma-aminobutyric acid neuropharmacological investigations on narcosis produced by nitrogen, argon, or nitrous oxide. *Anesth Analg.* 2003;96:746-9.
18. Talpalar AE. Síndrome neurológico de alta presión. *Rev Neurol.* 2007;45:631-6.
19. Lorenz J, Brooke ST, Petersen R, Török Z, Wenzel J. Brainstem auditory evoked potentials during a helium-oxygen saturation dive to 450 meters of seawater. *Undersea Hyperb Med.* 1995;22:229-40.