

# *La embriaguez de las grandes profundidades*

Dr. PIERRE CABARROU.

Se agrupan bajo el nombre de Embriaguez de las Grandes profundidades, el conjunto de trastornos que aparecen en el hombre respirando aire comprimido bajo presiones iguales o superiores a 4-6 atmósferas absolutas.

Se trata principalmente de una debilitación del razonamiento (una multiplicación de 3 cifras por 3 es errónea siempre), unido a una cierta torpeza y a una incoordinación motora (presentar correctamente una tuerca sobre un tornillo y enroscarlos a la primera tentativa, depende del cálculo de probabilidades). Además, el sujeto tiene tendencia a ser hiperactivo y se comprende que esto no pueda llevar a otra cosa que a una agitación desordenada, que puede ser peligrosa en buceo. A cada estímulo, una reacción se desencadenará, inmediata e inadaptada. Todo ello es agravado por el hecho de que hay una debilitación cierta del instinto de conservación, a tal punto que algunos buceadores veteranos han podido decir: «Si un día, más allá de los 40 metros, me siento demasiado bien volveré en seguida a profundidades menores».

Cuando se reemplaza el nitrógeno del aire por el helio, los trastornos no aparecen hasta profundidades de 250 a 300 metros (1).

—En 1935, BEHNKE, basándose principalmente en los trabajos de MEYER (padre e hijo) y HOPPE, y en los de OVERTON, emite la teoría de la «Nitrogen Narcosis». Al igual que los anestésicos gaseosos, el nitrógeno tiene un coeficiente de solubilidad entre las grasas y el agua relativamente elevado. Para el helio (y para el hidrógeno, utilizado con éxito hasta 160

metros por los suecos) este mismo coeficiente es bajo. BEHNKE admite que el nitrógeno posee un poder narcótico a alta presión. Confirma esta posición por el hecho de que comprueba en el curso de 3 ó 4 experiencias sobre el hombre, que el argón —cuyo coeficiente de solubilidad es más elevado que el del nitrógeno— parece nocivo ya desde los 30 metros.

En 1950, BEAN se preocupa de la variación (proporcional a la presión absoluta) del peso del litro de mezcla gaseosa en el curso del buceo llama la atención sobre la dificultad ventilatoria que puede derivarse de ello, pudiendo provocar los trastornos de la embriaguez de las grandes profundidades. Experimenta sobre el perro anestesiado, traqueotomizado y respirando oxígeno. Desde los primeros minutos de la compresión y después, de la estancia, comprueba un aumento de la presión parcial del CO<sub>2</sub> alveolar, pero interrumpe la experiencia rápidamente sin duda para preservar y conservar sus animales.

En 1960, SEUSING y DRUBBE, y después en 1961, BUHLMAN, toman el relevo de esta opinión y, por cálculos y asimilaciones, deducen una retención de CO<sub>2</sub>, pero no practican ni un sólo análisis.

En 1937, EBBECKE había pensado en una acción mecánica de la presión y, al lado de la quimio-narcosis, proponía la existencia de una mecano-narcosis. No parece que el estudio de esta idea haya sido llevado más lejos.

Otras hipótesis han sido emitidas, pero no las exponemos, pues o ellas se relacionan más o menos directamente con las precedentes (MOMSEN piensa en la acción del peso molecular, en lugar de la de la densidad), o ellas han

(1) Podría ser que a estas profundidades, con oxihelio se esté aproximadamente en el mismo estado que a 40 ó 50 metros con aire.

sido controvertidas por los hechos (acción propia del oxígeno-claustrofobia).

Vamos ahora a discutir cada una de las 3 hipótesis principales.

### 1. Teoría CO<sub>2</sub>.

Esta teoría retiene la atención principalmente si nos colocamos desde el punto de vista físico, pues es cierto que el peso del volumen de mezcla respirado tiene una influencia sobre la ventilación (respirado a 90 metros, un litro de aire pesa casi 13 gramos), pero el peso de la mezcla no es el único elemento a considerar. Su viscosidad entra en juego, así como la forma de su circulación y, por consiguiente, su viscosidad cinemática.

El helio suprime la embriaguez de las grandes profundidades y es mucho más ligero que el aire, pero parece olvidarse —o silenciarse— que en circulación laminar un caudal de helio (oxi-helio 80-20) necesita para ser establecido, una presión SUPERIOR de 10 por ciento a la que necesitaría para la producción del mismo caudal de aire. En circulación turbulenta, por el contrario, entra en juego la viscosidad cinemática, o sea la densidad, y una ventaja marcada es para el helio. Pero, en realidad, ¿nuestra respiración se efectúa en circulación laminar o en circulación turbulenta? Las opiniones no faltan, los estudios serios son raros. Si se aplica secamente la fórmula de POISEUILLE, se demuestra en seguida que, a partir de un caudal de 40 litros por minuto, la inspiración y la espiración se hacen en circulación turbulenta. Afirmamos que esto tiene que ser falso, puesto que cada inspiración normal pone en juego en su comienzo y durante algunos instantes, caudales infinitamente superiores.

Los trabajos con experiencias múltiples de ROHRER (1915) y de DEAN y VISSCHER (1941) parecen demostrar que la circulación respiratoria es laminar, lo que descartaría el papel del CO<sub>2</sub>.

Otras investigaciones tienden a confirmar estos resultados. REGNAULT y REISET (1849) establecieron que el consumo de oxígeno queda constante en peso, cualquiera que sea la presión parcial de este gas; HALDANE (1895) estableció que la producción de CO<sub>2</sub> en peso es constante, tanto si se está en altura como en profundidad. En estas condiciones, la balanza O<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> quedando en equilibrio, se comprende mal cómo podría producirse una retención de CO<sub>2</sub>.

CULLEN (1951) comprueba que una mezcla de 80 % de xenon y 20 % de oxígeno es anes-

tésica a la presión atmosférica y, bajo tales anestias, practica sobre hombres algunas intervenciones quirúrgicas, entre ellas una extirpación de ovario y una extirpación de testículo. Como el xenon es considerado habitualmente inerte, pero como es muy pesado, se puede estar tentado de hablar de densidad isonarcótica. El peso del litro de la mezcla utilizada en presión atmosférica es igual al de un litro de aire respirado bajo 4,6 atmósferas absolutas, o sea a 36 metros de profundidad. ¿Qué esperan, pues, los defensores de la teoría densidad-CO<sub>2</sub>, para sufrir una intervención quirúrgica a 4,6 atmósferas absolutas de presión sin otro anestésico que el aire comprimido?

Los análisis, sea de aire alveolar, sea de aire de los cascos de buzo, han dado también resultados interesantes e incluso probantes. Parece ser, en efecto, que únicamente HALDANE, BEAN y nosotros hayamos encontrado a veces un exceso de CO<sub>2</sub>. HALDANE, analizando el aire recogido en los cascos de los buzos de gran profundidad, encontró, al comienzo de sus trabajos, CO<sub>2</sub>; ahora bien, aumentando la ventilación del casco y agregando en el circuito un cartucho depurador, hizo desaparecer el CO<sub>2</sub>, a pesar de lo cual los trastornos continuaron, en una atmósfera que había pasado a ser de composición perfectamente normal.

BEAN, en condiciones experimentales que él precisa bien (y que no tienen que ver gran cosa con las del buceo humano con aire), encontró un exceso de CO<sub>2</sub> durante la fase de compresión y después durante los primeros minutos de estancia, pero en los gráficos que hizo se observa de una manera casi constante que la tasa de CO<sub>2</sub> estaba bajando cuando volvió sus perros a la presión atmosférica, o sea hacia el 5.º a 7.º minuto.

Personalmente, hemos medido el CO<sub>2</sub> en los tubos de espiración de buceadores, a 90 metros. Si no se tomaba ninguna precaución y el descenso era rápido (90 segundos), se comprobaba un exceso de CO<sub>2</sub> a partir del momento de la llegada al fondo y que duraba de 5 a 8 minutos; después todo volvía a la normalidad. Bastaba, por otra parte, con efectuar dos o tres buenas espiraciones desde la llegada al fondo, para que el CO<sub>2</sub> se mantuviera en su valor normal durante los 20 minutos que duraba cada experiencia (55), y una vez durante 45 minutos. Además, cuando la presión parcial del oxígeno fue, con otros fines, mantenida a su valor de superficie (0,2 atmósferas absolutas), no observamos nunca la menor polipnea.

RASHBASS (1955), por medio de una ligera hiperpnea voluntaria, hizo pasar sus sujetos en

discreta hipocapnia a 90 metros, y los transtornos —medidos por tests de toda garantía— quedaron estables a pesar de esta importante modificación.

En fin, a nuestro conocimiento, todos los investigadores, BENNETT (1960) en cabeza, que han estudiado este problema, no han encontrado nunca retención de CO<sub>2</sub>, incluso a la escala tisular en el cerebro. De CO<sub>2</sub>, algunos deducen, inducen, infieren, pero nadie ha medido.

## 2. Mecano-narcosis.

Esta teoría no es precisada por EBBECKE y la lucidez de los buceadores a 250 y 300 metros, que HANNES KELLER y nosotros mismos podemos afirmar por experiencia, parece bien referirla de manera bastante definitiva.

## 3. Nitrogen narcosis.

Esta posición es, igualmente, bastante frágil pues, si los transtornos son ocasionados por un fenómeno de disolución electiva en ciertos elementos grasos del tejido nervioso, la objeción de BUHLMANN pidiendo por qué un largo período a media profundidad no tiene los mismos efectos que una estancia breve a gran profundidad, es perfectamente válida. Además, apoyándose en esta teoría se comprende mal que haya una tan gran diferencia entre el efecto del nitrógeno y el del argón, mientras que sus coeficientes de solubilidad respectivos son de 5,2 y 5,4.

Si tomamos en consideración los trabajos originales de MEYER y HOPFF, se ve que su teoría era más completa que la que utiliza BEHNKE. El estado narcótico es relacionado con la concentración de gas neutro expresado en moles por litro de suero. A la luz de nuestros conocimientos actuales esta teoría no puede sostenerse, o bien es preciso entonces considerar tales variaciones de la concentración crítica, que ello quita todo valor a esta noción.

En realidad todas las dificultades provienen del hecho de que los gases respirables a nuestra disposición se clasifican en el mismo orden, tanto si se considera: su nocividad bajo presión, su densidad, su solubilidad en las grasas o su coeficiente de solubilidad (1).

Teniendo esto en cuenta, hemos intentado seguir las variaciones del E.E.G. del hombre bajo 8 a 11 atmósferas absolutas (70 a 100 metros) en función de las variaciones de la presión par-

cial del nitrógeno, de la densidad y de la presión absoluta, por separado hemos podido observar que a presión parcial de nitrógeno constante, las variaciones de densidad son sin efecto; a densidad constante, las variaciones de presión parcial de nitrógeno ocasionan variaciones del estado bio-eléctrico del sujeto; en la ausencia de nitrógeno una elevación de la presión absoluta hasta 11 atmósferas es sin efecto sobre el E.E.G.

Esto inclinaría hacia la teoría de la Nitrogen narcosis, pero hemos podido comprobar igualmente, que los transtornos E.E.G. desaparecen y reaparecen en unos 30 segundos a 11 atmósferas absolutas cuando se cambia el sujeto de aire a oxi-helio, e inversamente; esto parece condenar claramente una acción por disolución en tejidos de período lento. Hemos comprobado asimismo que los transtornos E.E.G. no son característicos de una narcosis y, en fin, los únicos signos brutales de intolerancia que hemos visto han sido crisis motrices clínicamente y eléctricamente epileptiformes, siendo la presión parcial del oxígeno de 0,2 atm. abs., o sea normal.

¿Qué debemos, pues, aceptar? Puede ser que un punto de partida para una nueva interpretación consista en buscar del lado de trabajos americanos recientes. SEARS y FENN (1957) provocan en una emulsión inestable aceite-agua, una inversión de fase por aplicación de presión; pero esta inversión se produce a distintos niveles, según que la presión sea ejercida por el nitrógeno, el helio o el argón. FENN (1962), pensando en variaciones de permeabilidad o de estado eléctrico de la membrana celular, cita la teoría de los conejos y los peces emitida por un investigador americano, humorista, además. En un archipiélago, los peces van a donde quieren y los conejos están prisioneros en las islas; en un país lacustre, los conejos van a donde quieren y los peces están prisioneros en los lagos. Basta muy poca cosa para que un continente lacustre se convierta en un archipiélago.

De todo cuanto llevamos dicho, resulta que la embriaguez de las grandes profundidades no es causada por una retención de CO<sub>2</sub> y que no tiene nada que ver con la densidad de la mezcla respirada (1). Está ligada a la presión parcial del nitrógeno, pero este gas actúa de una manera que nos es desconocida.

(1) Es sabido desde hace tiempo que el CO<sub>2</sub> agrava la embriaguez de las grandes profundidades y es evidente que no existe ningún interés en utilizar mezclas cuya puesta en movimiento exige un esfuerzo respiratorio importante.

(1) Una sola excepción: El Helio y el Hidrógeno tienen características que se cruzan. El He es más pesado y menos soluble que el H<sub>2</sub>.

La búsqueda de las causas de la embriaguez de las grandes profundidades revestirá una gran importancia en tanto que el helio costará tan caro e incluso mucho más tiempo todavía, pues parece ser, a pesar de los éxitos de algunos investigadores aislados, que la descompresión después de un buceo al oxi-helio pone a las diversas marinas un problema muy áduo.

## BIBLIOGRAFÍA

BEAN, J. W. — 1950. — «Tensional changes of alveolar gas in reaction to rapid compression and decompression and question of nitrogen narcosis». — «Am. J. Physiol.». — 161/6, pp. 417-425.

BEHNKE, A. R., THOMSON, R. M. y MOTLEY, E. P. — 1935. — «The psychologyc effects from breathing air at 4 atmospheres pressure». — «Am. J. Physiol.». — 112, pp. 554-558.

BEHNKE, A. R. y YARBROUGH, O. D. — «Respiratory resistance, oil-water solubility and mental effets of argon compared with He and N<sub>2</sub>». — «Am. J. Physiol.». — 1939, 126, pp. 409-415.

BJURSTED, H. y SEVERIN, G. — 1948. — «The prevention of decompression sicknes and nitrogen narcosis by the use of hydrogen as a substitute for nitrogen». — «Mil. Surg.». — 103, pp. 107-116.

BÜHLMANN, A. — 1961. — «La physiologie respiratoire au cours de la plongée sous-marine». — «Schw. Med. Wschft». — 91/26, pp. 774-778.

CABARROU, P. — «L'ivresse des grandes profondeurs». — «Pr. Méd.». — 1964, 72/13, pp. 793-797.

CULLEN, S. C. y GROSS, E. G. — 1951. — «The anesthetic properties of xenon in animals and human beings with additional observations on krypton». — «Sci.». — 113/mai, pp. 580-582.

DEAN, R. B. y VISSCHER, M. B. — 1941. — «The kinetics of lung ventilation». — «Am. J. Physiol.». — 134/3, pp. 450-468.

EBBECKE, U. — 1936. — «Ueber Kompression und Nargose». — «Pflüg. Arch. Ges. Physiol.». — 238/29, pp. 441-451.

FENN, W. O. — 1962. — «Physiological effects of hig pressures of nitrogen and oxygen». — «Circ.». — 26/nov., pp. 1.134-1.143.

HILL, L. y GREENWOOD, M. — 1906. — «The influence of increased barometric pressure on man». — «Proc. Roy. Soc. Med.». — 77, pp. 442-453.

MEYER, H. H. — 1899. — «Zur Theorie der Alkoholnarcose». — «Arch. Exp. Pathol. Pharmak.». — 42/8, pp. 109-118.

MEYER, H. H. — 1906. — «The theory of narcosis». — «J.A.M.A.». — 46/3, pp. 167-169.

MEYER, K. H. y GOTTLIEB-BILLROTH, H. — 1921. — «Theorie der Nargose durch Inhalationsnästhetika». — «Ztschft. für Physiol. Chem.». — 112, pp. 55-79.

MEYER, K. H. y HOPFF, H. — 1923. — «Narkose durch indifferente Gase unter Druck». — «Ztschft. für Physiol. Chem.». — 126, pp. 281-298.

RASHBASS, C. — «The un importance of CO<sub>2</sub> as a cause of nitrogen narcosis?». — «Roy. Nav. Physiol. Lab. UPS». — 153, Oct., 1955.

REGNAULT, V. y REISET, J. — 1849. — «Recherches chimiques sur la respiration des animaux de divers classes». — «Ann. Chim. Phys.». — 26/21 et 22, pp. 299-519.

ROGER, A., CABARROU, P. y GASTAUT, H. — «EEG changes in human due to changes of the surrounding pressure». — «EEG and Clin. Neurol.». — 1957, 7/1, pp. 152.

ROHRER, F. — 1915. — «Der Strömungswiderstand in den menschlichen Atenwegen und des Einfluss der unregelmässigen Verzweigungen des Bronchialsystems auf den Atemverlauf in verschiedenen Lungenbezirken». — «Arch. Ges. Physiol.». — 162, pp. 225-299.

SEARS, D. F. y FENN, W. O. — 1957. — «Narcosis and emulsion reversal by inert gases». — «J. Gen. Physiol.». — 40/4, pp. 515-520.

SEUSING, J. y DRUBBE, H. CH. — 1960. — «Die Bedeutung der Hyperkapnie für den Tiefenrausch». — «Klin. Wshft.». — 38/21, pp. 1.088-1.090.

SPYROPOULUS, C. S. — «Response of single nerve fibers at different hydrostatic pressures». — «Am. J. Physiol.». — 1957, 189/1, pp. 214-218.

ZETTERSTRÖM, A. — 1948. — «Deep-sea diving with synthetic gas mixtures». — «Mil. Sug.». — 103, pp. 99-101.