

# Buceando con el USS Barometer

Un frasco de agua de 18m de altura es como un barómetro de mercurio para medir la presión atmosférica. El barómetro real es un tubo de vidrio con un diámetro aproximado de 6,35 mm, lleno de mercurio, con su extremo abierto invertido sumergido en un pequeño recipiente lleno de mercurio. En la parte superior, sellada, el mercurio desciende hasta quedar a una altura de unos 76 cm por encima de la superficie del recipiente. La longitud de la columna es equivalente a una presión (presión atmosférica o barométrica) de - 14.7 libras/ pulgada cuadrada absoluta (psia) o 1 bar. Si el experimento se realiza durante una tormenta o en la cima de una montaña (es lo que hicieron los investigadores de la época, alrededor del 1600 DdC), la altura de la columna de mercurio cae como las caídas de presión barométrica.

La columna de mercurio está por encima de la pequeña balsa de mercurio debido a que la presión atmosférica en la superficie de la piscina lo empuja tubo arriba. El espacio «vacío» en el extremo cerrado del tubo, en realidad, está lleno de vapor de mercurio. Para ilustrar este punto, se podría hacer un barómetro con agua de mar en lugar de mercurio (y evitar el contacto físico con el mercurio, ya que es muy tóxico). Si el extremo cerrado de un tubo llenado con agua de mar se elevase gradual y verticalmente sobre el nivel del mar, la columna de agua salada en su interior se elevaría hasta los 10 m., sin importar la longitud del tubo ni cuánto se elevase. Si el tubo fuese lo suficientemente grande como para bucear en él, un buceador notaría que la presión ambiental disminuiría a medida que fuera ascendiendo por su interior.

Esto funciona exactamente de la misma manera que en el barómetro de mercurio, excepto que el líquido es agua. De hecho, se han construido barómetros de agua dulce, pero en vez de 76 cm de altura, son de 11 m de altura (11m altura de agua dulce= 1 atmósfera de presión = 76 cm de mercurio = 33pies de columna de agua de mar. El espacio aparentemente vacío en el extremo superior del tubo está lleno de vapor de agua, a una presión de 0,05 atmósferas absolutas (ATA).

## La bomba de succión

Un barómetro de agua y una bomba de aspiración tienen mucho en común. Si abrimos el espacio superior del tubo a la atmósfera, el agua cae de nuevo al nivel del mar. Ahora cerremos el espacio superior y hagamos el vacío con una bomba de succión, aspirando el agua del mar por el tubo. El agua se elevará hasta los 11m y se detendrá. En un pozo de agua dulce, es imposible bombear el agua desde una profundidad mayor de 11metros por la misma razón que el agua en un barómetro de agua dulce no se elevará por encima de los 11m (más adelante explicaremos el porqué).

## Buceo en altitud

¿Qué le sucedió al pececillo que nadaba en la jarra de agua en el estanque para tortugas de Shayne Pemberton, y qué le pasaría a un buceador dentro de un barómetro de agua? En primer lugar, hay que recordar que la presión al nivel del mar en la parte inferior de la columna de agua es de 1 ATA, y que la presión en el espacio superior, 11metros más arriba, es de 0,05 ATA (la presión del vapor de agua). Si el buceador ascendiese por el interior de la columna de agua hasta una altura de 5 m, la presión absoluta en este punto sería la mitad de una atmósfera absoluta (ATA 0.5), lo que equivale a la presión atmosférica a una altitud de 5.486 m. Si el buceador continuara ascendiendo hasta los 7 m, la presión se reduciría a 0,3 ATA, lo que equivaldría a una altitud de 9.144 m. La cima del monte Everest tiene una altura de unos 8.839 m, y el traje de un astronauta espacial está presurizado a una presión equivalente a una altitud de 9.235 m.

El buceador se encuentra en este mundo artificial con dos problemas de inmersión muy poco probables. En primer lugar, un buceador que respirase aire a 7 m en la columna de agua, perdería la consciencia por insuficiencia de oxígeno (hipoxia), debido a que la presión parcial del oxígeno a 9.144 m es sólo de 0,06 atm o su equivalente al 6% de su presión al nivel del mar. Para evitar la hipoxia, el traje de un astronauta espacial se llena con oxígeno puro. En segundo lugar, el buceador desarrollará un mal de altura que le provocará una incapacitación fatal debida a una enfermedad descompresiva (ED), al convertirse en burbujas el nitrógeno disuelto en sus tejidos. Para evitar la ED, los astronautas respiran oxígeno puro durante un máximo de cuatro horas a nivel del mar, eliminando así el nitrógeno disuelto antes de que se descomprima a la presión de los trajes espaciales. Piense en este mundo artificial: una columna de aire compresible de más de 330Km de altura es sustituida por una columna de agua de mar de 10m de altura, incompresible.

Cada columna ejerce el mismo peso en la superficie del océano. Bucear en un barómetro de agua sería una forma inteligente de enseñar ambos concepto de presión, tanto la manométrica como la absoluta, si no fuera por la hipoxia y la ED... Hervir en frío ¿Por qué la altura de la columna en un barómetro de agua de mar está limitada a 10 m y por qué no se puede bombear agua de pozos a más de 11 metros de profundidad? Esto obedece al mismo fenómeno que la ebullición. A temperatura ambiente, 22 °C, la presión de vapor de agua es de 0,05 atm. Cuando el agua se calienta, su presión de vapor se incrementa, y cuando la temperatura alcanza los 100 °C, la presión de vapor es de 1 atm. Así, el agua hierve cuando su presión de vapor es igual a la presión absoluta (ambiental). Piensa en ello de otro modo. Cuando se asciende a una montaña, al ser la presión atmosférica menor, el agua hervirá a una menor presión de vapor (a menor temperatura). Lo contrario es cierto en una olla a presión, donde el aumentar la presión en la olla, se retrasa el punto de ebullición hasta una temperatura más alta.

### **La descompresión de la burbuja**

Aquí tenemos una lección acerca de lo que les sucede a las burbujas que se forman durante la descompresión. Las burbujas se forman cuando la suma de todas las presiones parciales de los gases disueltos (nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, helio, etc) -más la presión del vapor de agua - excede a la presión absoluta. Esto se conoce como «sobresaturación». Durante el buceo, sin embargo, y a diferencia de la ebullición, la presión de vapor de agua es mucho menor que la presión parcial del nitrógeno disuelto, por lo que el nitrógeno, en lugar del vapor de agua, impulsa la formación de burbujas. Algunos teóricos sostienen que durante la descompresión es posible que soportemos valores de sobresaturación más grandes, antes de que se formen burbujas en la sangre y en los tejidos pero, de existir, estos excesos de sobresaturación son muy pequeños. Las burbujas silenciosas («silent bubbles») que no causan ningún signo o síntoma de E.D., pueden estar presentes, incluso después de inmersiones triviales. Controles rutinarios por ultrasonidos en humanos han detectado burbujas en sobresaturaciones tan bajas como puedan ser inmersiones en agua salada a 0,4 atm (-4m). Tal vez las grandes sobresaturaciones en la teoría de la descompresión representan burbujas silenciosas que son demasiado pequeñas o están en el lugar equivocado para causar síntomas.

Incluso hay una lección aún más exótica concerniente a la formación de burbujas: el vapor de agua abandonará la superficie del agua sólo si hay una superficie de gas adyacente. Si no hubiera ninguna superficie de gas en el barómetro de agua, sería posible elevar la columna de agua a miles de metros en el aire y hacer que estuviese adherida al extremo del tubo. Por extraño que pueda parecer, la presión en la parte superior de la columna sería cientos de veces inferior a la presión atmosférica. Esto ha sido demostrado experimentalmente con agua pura y sobrecalentada, que no hierve aunque la presión de

vapor sea cientos de veces mayor que la presión atmosférica. Cuando finalmente de forma una burbuja de vapor de agua pura, es cuando el agua ha llegado al límite de su “tensión”, a parte de la resistencia a la fractura. Esto se conoce como la formación de burbujas “de novo”, o la formación de burbujas «de la nada.» La realidad es que casi siempre las burbujas se forman a partir de «algo», y ese algo es una pequeña cavidad de gas, ya sea en el agua de mar o en nosotros. ¿Quién dijo que la física era aburrida?

### **Sobre el Autor**

Richard Vann se incorporó al Centro Médico y de Fisiología Ambiental de la Universidad de Duke con un doctorado en ingeniería biomédica. Ha investigado la formación de burbujas y el intercambio de gas inerte. Ha desarrollado técnicas de descompresión utilizadas en buceo científico y por los astronautas de la Estación Espacial durante las EVAs (\*). Vann es el actual Vicepresidente de Investigación de DAN.

(\*) Nota del Traductor:

EVA son las siglas de Actividad Extra Vehicular, lo que normalmente se conoce como «paseos espaciales».