

# Superando los límites: Nuevas investigaciones sobre la fisiología del buceo profundo con rebreather

*Los buceadores de rebreather profundo no sólo están explorando lugares de inmersión nuevos y raramente visitados, sino que también están entrando en un territorio inexplorado en lo que respecta a los efectos fisiológicos de dichas inmersiones. Dos estudios recientes realizados por investigadores hiperbáricos, entre los que se encuentra el propio Costantino Balestra de DAN Europe, están contribuyendo a un pequeño pero creciente caudal de nuevos datos.*

A diferencia de los buceadores de circuito abierto, que están limitados a las mezclas de gas fijas que llevan en sus botellas, los buceadores de reciclador de circuito cerrado (CCR) tienen la capacidad de gestionar la composición de su gas respirable durante la inmersión. Utilizan esta capacidad para mantener una presión parcial de oxígeno (PO<sub>2</sub>) óptima y minimizar así su carga de gas inerte. Como resultado, el uso de un CCR permite tiempos de descompresión más cortos en comparación con el buceo en circuito abierto.

Además, el uso de un CCR reduce drásticamente la cantidad de gas que utiliza el buceador, un factor importante teniendo en cuenta la dificultad y el coste de obtener helio en muchas regiones del mundo. Todos estos factores han contribuido a que el cambio del circuito abierto al CCR sea una tendencia importante en el buceo técnico de las dos últimas décadas. Han entrado en el mercado nuevos fabricantes de rebreathers y controladores electrónicos, la tecnología CCR está madurando y se está haciendo más fiable, y las inmersiones profundas con CCR son cada vez más habituales.

Sin embargo, hay una trampa. Nuestros conocimientos sobre la descompresión y otros aspectos fisiológicos de la inmersión se basan en gran medida en los datos de un gran número de inmersiones, la gran mayoría de las cuales son relativamente poco profundas. A profundidades de hasta -50 metros, tenemos una idea bastante precisa de lo que funciona y lo que no para el buceador medio. Sin embargo, a medida que aumenta la profundidad, los datos son más escasos. Aunque existe un sólido corpus de investigación sobre el buceo comercial y de saturación a grandes profundidades, las condiciones en las que se realizan estas inmersiones son muy diferentes de las inmersiones "de rebote" (es decir, de superficie a superficie) realizadas por los buceadores técnicos, por lo que los conocimientos de esta investigación sólo tienen una aplicabilidad limitada.

Las decisiones sobre los procedimientos de descompresión que toman los buceadores técnicos profundos y los de CCR son algo especulativo porque los algoritmos de descompresión que utilizan sólo están validados para profundidades menores.



## Deshidratación, función pulmonar reducida, burbujas imprevisibles

En un esfuerzo por cambiar esta desafortunada situación, dos estudios fisiológicos publicados en 2021 contribuyen a un pequeño pero creciente cuerpo de conocimientos. El [primer estudio](#) se realizó durante una expedición a Tahití, cuyo objetivo principal era la recogida de muestras de arrecifes de coral recientemente descubiertos en la zona mesofítica a profundidades de -90 y -120 metros. Los buceadores eran hombres en buena forma física, la mayoría de ellos de unos 30 años, con amplia experiencia. El número total de inmersiones fue de 16. Los investigadores midieron una serie de parámetros fisiológicos, como la espirometría (rendimiento pulmonar), la masa corporal (como indicador de la hidratación), el hematocrito, la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) a corto plazo y la frecuencia crítica de fusión de parpadeo (FFC), como posible indicador del deterioro cognitivo (*narcosis*, Nota del Traductor).

Las principales conclusiones de los investigadores fueron que se produjo una considerable pérdida de masa corporal debido a la deshidratación -una disminución de 3,5 kg, de 73,5 a 70,0 kg, para la mediana-, así como una importante reducción de la función pulmonar inmediatamente después de la inmersión, de la que los buceadores acabaron recuperándose. Aunque todavía se está evaluando el CFFF como [indicador del rendimiento cognitivo](#), el hecho de que no se observara ningún cambio es coherente con nuestra comprensión del uso del helio para reducir la narcosis y los efectos excitatorios de la respiración de oxígeno hiperbárico.

En el [segundo estudio](#), los investigadores acompañaron a una expedición de buceo en pecios al Mar Rojo, con inmersiones a profundidades de -64, -97 y -123 metros. Aunque de nuevo todos eran hombres, el grupo de buceadores era más diverso que el primero en cuanto a edad, composición corporal y estado físico. Este estudio se centró en el estrés descompresivo, medido mediante un registro de los émbolos de

gas venoso (VGE), o burbujas, utilizando una ecografía Doppler cardíaca y subclavia, realizada 30 y 60 minutos después de salir a la superficie.

Costantino "Tino" Balestra es profesor de fisiología en la Haute École de Bruxelles-Brabant, así como vicepresidente de Investigación y Educación de DAN Europe. Ha sido miembro de ambos equipos de investigación y ha tenido la amabilidad de compartir con Alert Diver algunas de sus reflexiones sobre los dos estudios.

"Una cosa que nos está quedando clara es que es muy difícil predecir los recuentos de VGE de un buceador individual basándose en su saturación y desaturación, incluso si se tienen en cuenta factores como la edad, la forma física y el IMC", explicó Balestra. "En algunas personas, vemos burbujas donde no debería haberlas. Otras personas no parecen burbujear mucho aunque buceen con perfiles relativamente agresivos. Los factores individuales parecen desempeñar un papel importante".

Con respecto al estudio de Tahití, Balestra dijo "Nuestros principales hallazgos aquí fueron la reducción temporal de la función respiratoria y la deshidratación tras inmersiones muy profundas. Podemos suponer que estas inmersiones suponen un esfuerzo importante para el organismo de los buceadores".



## Sujetos humanos y ética de la investigación

Llevar a cabo una investigación sobre las inmersiones profundas de CCR plantea una serie de retos. "Las inmersiones profundas en CCR no son muy habituales y suelen tener lugar lejos de los laboratorios universitarios. Las oportunidades de investigación son escasas, y aquí estamos topografiando un nuevo territorio", dijo Balestra. "Y hay otras limitaciones. Como investigador, puedo observar y tomar datos, pero no puedo decir a la gente cómo bucear. Eso sería muy poco ético. El buceo profundo en CCR es arriesgado, la gente está poniendo su organismo en juego, y tiene que ser una decisión cien por cien propia".



## Perspectiva, y un consejo

Ha habido una clara tendencia al aumento del uso de rebreathers para el buceo profundo, y Balestra cree que esta tendencia no desaparecerá pronto. "Hay muchas cosas emocionantes que ver, y la gente está fascinada por la tecnología", dijo. Sin embargo, cuando se le pregunta qué consejo daría a alguien que esté considerando introducirse en este tipo de buceo, pide precaución. "En primer lugar, deberías preguntarte cuántas inmersiones voy a hacer al año. El uso de los CCR es mucho más complejo que el de los equipos de circuito abierto, y se necesita mucha práctica para mantener prestas las habilidades. Además, un rebreather es una máquina muy cara. Si haces menos de cincuenta inmersiones al año, dudo que merezca la pena, tanto en términos de riesgo como de coste".

## ¿Y para los que decidan dar el paso?

"Desde el punto de vista de la ciencia hiperbárica: no estés demasiado seguro de que tu protocolo de descompresión te mantendrá a salvo de la ED. Hay mucho más que eso. Lo que haces en tu vida diaria e incluso inmediatamente antes de la inmersión puede ser tan importante como tu elección de los factores de gradiente. Hay algunas investigaciones nuevas e interesantes en ese sentido, y se aplican no sólo a las personas que van a -120 metros. Muévete. Haz algo de ejercicio. Aquí, en DAN Europe, estamos observando un reciente repunte en la incidencia de la ED que creemos que está relacionada con el estilo de vida más sedentario que llevó la gente durante la pandemia."

---

## Referencias

Dugrenot, E., Balestra, C., Gouin, E. et al. [Physiological effects of mixed-gas deep sea dives using a closed-circuit rebreather: a field pilot study](#). *Eur J Appl Physiol* **121**, 3323–3331 (2021).

Balestra, C., Guerrero, F., Theunissen, S. et al. [Physiology of repeated mixed gas 100-m wreck dives using a closed-circuit rebreather: a field bubble study](#). *Eur J Appl Physiol* **122**, 515–522 (2022).

---

## Acerca del autor

Tim Blömeke imparte formación de buceo recreativo y técnico en Taiwán y Filipinas. Es un ávido buceador de cuevas, pecios y CCR, así como editor y traductor de Alert Diver. Vive en Taipei, Taiwán. Puedes seguirle en Instagram en [@timblmk](#).

---

Traductor: [Ramon Verdaguer](#)