

# Perspectivas para la creación de planes de descompresión personalizados

## ***Por qué el futuro de la seguridad en el buceo depende de descifrar el código de la fisiología humana***

Los límites tecnológicos, la absoluta escasez de datos reproducibles y la necesidad de un algoritmo repetible y modificable, son los únicos obstáculos que se interponen entre un modelo de descompresión personalizado y tú, para tu próxima inmersión. Si te parece mucho, es porque lo es.

La cruda realidad es que las mentes más brillantes en hiperbária han dedicado sus carreras a realizar avances, a veces enormes y a menudo fascinantes, en una investigación que no solo no se puede aplicar al mundo real, sino que tampoco se puede correlacionar con ninguna métrica fisiológica o biológica identificada hasta ahora. Tenemos pruebas sólidas de que la enfermedad por descompresión (ED) está causada por la formación de burbujas intracorpóreas como resultado de la sobresaturación de gas disuelto, pero datos recientes sugieren que la cantidad de esas burbujas por sí sola no es suficiente para predecir si alguien experimentará síntomas de ED<sup>1</sup>.

Saber cuál es la causa más probable de la ED es una base bastante débil para construir un algoritmo de descompresión, pero el problema se complica en todos los frentes. Los investigadores han buscado docenas de marcadores biométricos con la esperanza de correlacionarlos con los síntomas de la ED, pero ninguno ha logrado hacerlo de forma fiable (al menos por ahora). Medir estos marcadores es difícil en un laboratorio y, en la mayoría de los casos, imposible de monitorizar durante una inmersión, y los algoritmos de descompresión actuales no están diseñados para tener en cuenta ninguna de estas métricas.

**Dar el salto desde los algoritmos de descompresión probabilísticos que utilizamos actualmente va a requerir avances en los modelos de descompresión, las herramientas de monitorización fisiológica y nuestra comprensión de la fisiología de la descompresión.**

Dar el salto a un algoritmo de descompresión personalizado va a requerir avances en los modelos de descompresión, las herramientas de monitorización fisiológica y nuestra comprensión de la ED. Es una tarea difícil desde cualquier punto de vista, pero existe la posibilidad de que un solo avance cambie por completo nuestra comprensión de los modelos de descompresión, y eso es lo que hace que esta investigación sea tan apasionante.



Esta investigación profundiza en lo que sabemos sobre los modelos personalizados de ED, lo que necesitamos saber e indica las investigaciones a las que hay que prestar atención:

## **Por qué aún no se ha descifrado la descompresión personalizada.**

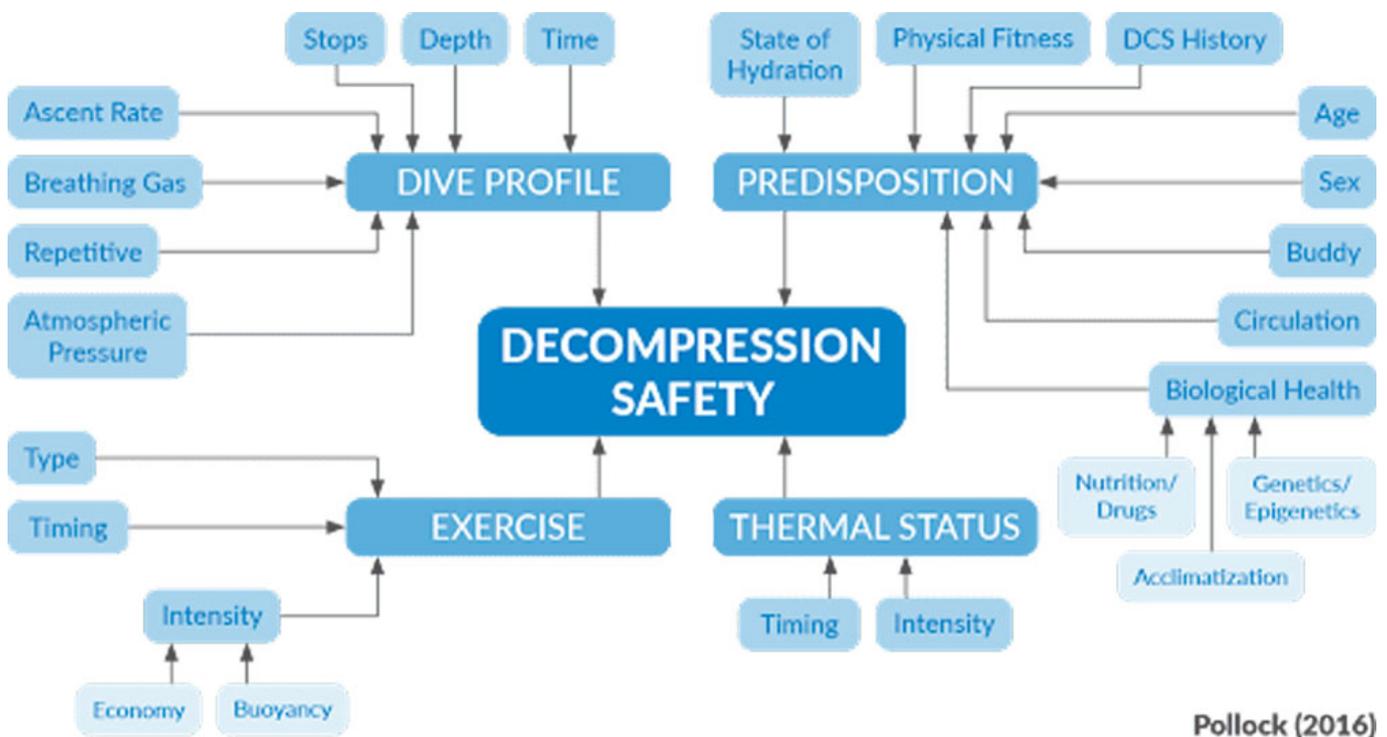
Los problemas con el modelado de la descompresión comienzan en el nivel más básico, con nuestra comprensión de la ED. *Creemos* que las burbujas causan los síntomas de la ED, pero aún no hay datos sólidos que demuestren una correlación entre la carga o el tamaño de las burbujas y la ED. Para complicar aún más las cosas, hay toda una serie de investigaciones que indican que podría no ser las burbujas en sí mismas las que causan las lesiones, sino la respuesta del organismo a esas burbujas<sup>2</sup>. Sin comprender el mecanismo de lesión que subyace en la ED, incluso nuestros mejores algoritmos de descompresión se convierten en meras estimaciones aproximadas del riesgo, basadas en estudios de hace décadas. En la práctica, la mayoría de nosotros seguimos buceando según un algoritmo basado en datos obtenidos al provocar una ED a cabras, hace más de un siglo: si las cabras sobrevivieron a la inmersión, *probablemente* tú también lo harás.

Los algoritmos de descompresión actuales son, en el mejor de los casos, rudimentarios, pero «sorprendentemente incapaces de evaluar una serie de factores complejos y tiempos que pueden influir en la absorción de gas, la eliminación y el riesgo efectivo», afirma el experto en fisiología de la descompresión, el Dr. en medicina Neal Pollock, quien añade que los algoritmos de descompresión son útiles para una «aproximación de primer orden del riesgo, para hacerse una idea general». Más allá de este punto, Pollock aboga por que los buceadores utilicen los algoritmos como base sobre la que realizar modificaciones conservadoras, basadas en la experiencia y la investigación, aunque inevitablemente

habrá muchas suposiciones y conjeturas.

El siguiente obstáculo para los investigadores es encontrar un método para medir el riesgo de ED y, a continuación, inventar la tecnología para evaluarlo en tiempo real. La personalización de la descompresión requiere medir *algo* sobre el buceador, ya sea la temperatura, los marcadores epigenéticos o cualquiera de las docenas de marcadores fisiológicos o biológicos posibles. Estos aspectos, tan fascinantes de investigar como difíciles de cuantificar, representan el área más interesante de este enigma para la mayoría de los buceadores.

Puede que no sea posible personalizar tu algoritmo de descompresión y reducir el riesgo de ED de forma significativa para la próxima vez que te sumerjas, pero existe una posibilidad muy real de que uno de estos estudios en curso provoque una evolución completa en la forma en que gestionamos el riesgo de los buceadores, en un futuro relativamente próximo.



## Factores con futuro

Es divertido crear algoritmos y nuevas herramientas de monitorización, pero lo realmente emocionante es la investigación de nuevos marcadores de la ED, que podrían correlacionarse con el riesgo de padecerla, o incluso conducir a una comprensión real de su mecanismo. Hay demasiados para contarlos, y es imposible saber cuáles (si es que hay alguno) proporcionarán finalmente información sobre por qué generamos burbujas de la forma en que lo hacemos, pero el potencial de un avance parece tentadoramente cercano en algunas áreas. Aquí tienes dos áreas que debes seguir de cerca en los próximos años:

### Micropartículas y respuesta inflamatoria

Cada vez hay más investigaciones que sugieren que algunos de los daños causados por la ED no se deben al daño mecánico de la formación de EGV durante la descompresión, sino a las micropartículas causadas por la formación de burbujas y a las respuestas inflamatorias, tanto a las burbujas como a las micropartículas<sup>13,14</sup>. Los mecanismos propuestos para la respuesta de las micropartículas y la respuesta inflamatoria a la descompresión y su contribución al riesgo de ED son algo complicados y podrían ser

objeto de un artículo aparte, pero se puede encontrar un excelente resumen en *Decompression Illness: A Comprehensive Overview*, un resumen de 2024 elaborado por el Dr. Simon Mitchell, experto en la materia.

Las micropartículas y las citocinas inflamatorias en las que se centran estas teorías pueden ser determinadas, pero solo en un laboratorio y no en tiempo real. Es necesario seguir investigando en este ámbito para calcular la relación entre el estrés oxidativo, la descompresión y las micropartículas circulantes, antes de poder realizar avances significativos, pero la interacción entre los tres y los datos existentes hacen que éste sea un tema al que prestar especial atención en los próximos años.

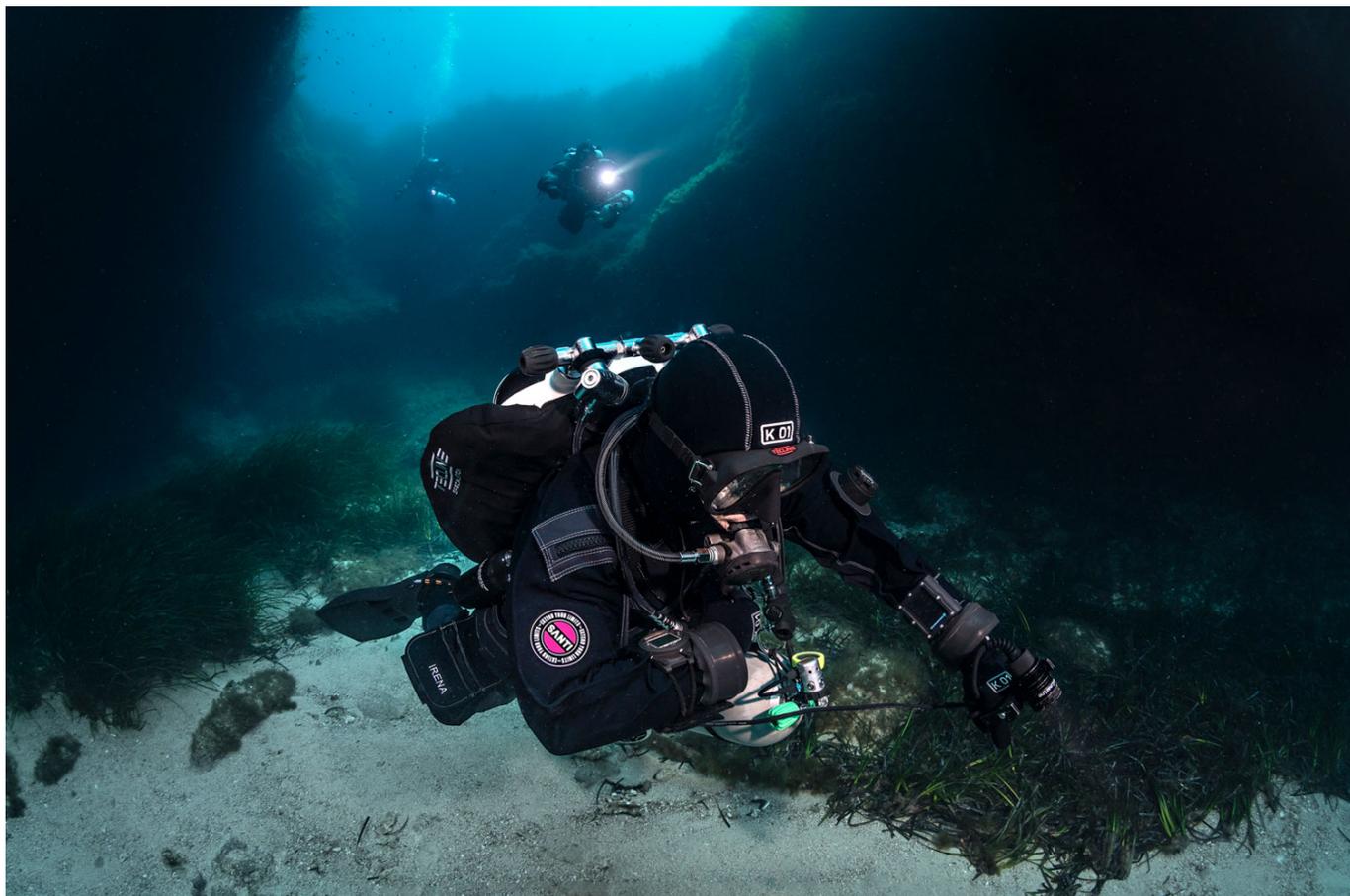


### **Estudios sobre las burbujas**

Décadas de investigaciones sugerentes (pero no concluyentes) han vinculado de forma indeleble las burbujas y la ED, pero un estudio reciente de la NEDU y la Universidad de Auckland podría haber puesto el punto final a la relación entre las cargas de EGV y los síntomas de la ED. Los investigadores tomaron 151 buceadores y los sometieron a 693 inmersiones, realizando estudios de burbujas después de cada una de ellas. El resultado fue un conjunto de datos único en este campo de investigación, que sugiere claramente que la variabilidad en la cantidad de burbujas en los buceadores era tan grande que no solo no se puede utilizar el recuento de burbujas para evaluar las prácticas de descompresión entre buceadores, sino que *los buceadores individuales, en inmersiones idénticas*, producen burbujas a un ritmo tan diferente que el grado de EGV puede no tener ninguna correlación significativa con la ED.

Esto supone un pequeño revés para el statu quo de la investigación sobre el buceo, pero no es el fin de los estudios sobre las burbujas. Los investigadores de DAN han terminado recientemente la recopilación de datos de un proyecto de cuatro años destinado a cuantificar la variabilidad de la carga de los EGV y a examinar parámetros como la variabilidad de la frecuencia cardíaca, el flujo cardíaco, la presión arterial, muestras de saliva para detectar marcadores inflamatorios y muestras de sangre para detectar

micropartículas. El análisis de los datos acaba de comenzar, pero el análisis a corto plazo se centrará en correlacionar los factores de riesgo de ED y el recuento de burbujas, y se ha mantenido el grupo de sujetos de investigación para facilitar los estudios de seguimiento.



## Mirando hacia el futuro

A pesar de que gran parte de esta investigación se basa en mecanismos aún no probados de la ED y en tecnología y biomarcadores aún por desarrollar, hay muchos motivos para ser optimistas. Es necesario moderar ese optimismo con la conciencia de que pueden pasar años antes de que exista la tecnología necesaria para medir algunos de estos marcadores teóricos de forma significativa, pero es difícil no entusiasmarse con el gran número de posibilidades que ofrece este campo.

La descompresión personalizada puede que aún no sea una realidad, pero los obstáculos para llegar a ella son identificables y algunos investigadores y buceadores brillantes están dedicando sus vidas a hacerla posible. ¿Te interesa avanzar en esta causa? Puedes obtener más información sobre los proyectos de investigación en curso y ofrecerte como voluntario para ayudar en [Investigación Actual](#).

Se ha publicado una versión ampliada de este artículo en la revista *InDEPTH*.

---

### Artículos citados

1. Doolette, D; Murphy, G (2023) [Within-diver variability in venous gas emboli \(VGE\) following repeated dives.](#)

2. Mitchell, Simon J (2024) [Decompression Illness: A comprehensive review. PMID: 38537300](#)

### **Más información**

- Cialoni, D; Pieri, M; Balestra, C; Marroni, A (2017) [Dive Risk Factors, Gas Bubble Formation, and Decompression Illness in Recreational SCUBA Diving: Analysis of DAN Europe DSL Data Base](#)
- 

### **Acerca del autor**

Reilly Fogarty es un instructor de rebreather afincado en Nueva Inglaterra y capitán con licencia USCG. Su experiencia profesional incluye la medicina quirúrgica y de urgencias en zonas salvajes, la investigación en medicina hiperbárica y la mitigación de riesgos de buceo a gran escala, así como el diseño y la gestión de programas de primeros auxilios. Anteriormente ha trabajado en ensayos humanos de fisiología en exposiciones extremas para el Centro de Medicina Hiperbárica y Fisiología Ambiental de Duke y como Jefe del Equipo de Mitigación de Riesgos de la Red de Alerta de Buceadores, DAN.

---

### **Acerca del traductor**

Ramon Verdaguer es ingeniero industrial, diplomado en medicina hiperbárica y subacuática, operador de cámara hiperbárica, buceador comercial, Formador de Instructores de buceo.