



“Un Algoritmo de Descompresión Moderno”

RGBM

(Modelo de Gradiente Reducido de la Burbuja)

● **Una nueva mirada a la Descompresión:** Hoy en día muchos grupos de científicos dicen que Haldane no presentó todas las respuestas.
Para saber a donde queremos ir tenemos que saber de donde venimos.
Gracias al enorme esfuerzo y descubrimiento de Haldane y muchos otros científicos hemos buceado con un buen margen de seguridad durante casi 100 años, pero...

A pesar de esta historia, nuestras Tablas de Descompresión anteriores mantienen muchos puntos no explicados por la Teoría de Haldane.

Con el ánimo de resolver estos puntos y proponer un modelo mucho más seguro que tiene en cuenta la física de la burbuja, nace de la mano del Dr. Bruce Wienke el **Modelo de descompresión de dos fases, NAUI- RGBM.**

... de donde venimos y un poco de historia: Modelos de Gas Disuelto

- **Paul Bert 1878**, ascenso lento, “O₂ y CNS”
- **Lorrain Smith 1899** “O₂ y pulmones”
- **J. S. Haldane 1908**, Royal Navy “2:1” una sola fase ...”
- **Sir Leonard Hill** “ ascenso lento y continuo ...” , (delta P)
- **US Navy 1937** “Valores M”
- **1950**
- **1960** (seis medios tiempos)
- **Bühlman** “16 Compartimientos”
- **E. E. / E. L.** (exponencial / exponencial ; exponencial / Lineal)

Puntos aún sin resolver:

- Tasa de intercambio de gas inerte en sistema circulatorio y a través de tejidos.
- Composición y ubicación de tejidos críticos.
- Formación y crecimiento de la burbuja.
- Puntos críticos...
- La naturaleza del daño que causa la Enfermedad por Descompresión (EDC).

Paul Bert: Ascender lentamente para evitar el mal del cajón, solo se hacían buceos a 36 metros como máximo, considerado el techo para esos tiempos.

Se incorpora el oxígeno como método para tratar estas dolencias.

J. S. Haldane: Idea un modelo de descompresión para los buzos militares de la Marina Real Británica. Experimenta en cámara hiperbárica con cabras hasta 46 mts. / 150 pies. Disminuye la presión absoluta al 50% (regla 2:1) ascendiendo al buzo en etapas.

Utiliza 5 compartimientos o medios tiempos teóricos de 5/10/20/40/75 min.

Considera la saturación y desaturación como exponenciales.

Con los resultados se logró bajar hasta los 60 mts. Con un factor de riesgo aceptable para esa época y para el campo militar.

Sir Leonard Hill: Su teoría era contraria a la de Haldane, y pensaba que estaba loco. Manifestaba que el ascenso debía hacerse lentamente y en forma continua o lineal para que de esa forma los tejidos desaturaran gradualmente. Estaba equivocado en alguna medida. Finalmente Haldane fue el que mejor se aproximó, pero solo en un 50%, quedaron muchos cabos sueltos...

US Navy 1937: Utiliza 6 compartimientos 5/10/20/40/80/120. Se basa en Haldane, pero reduce el 2:1 a 1,55:1, porque el N₂ (nitrógeno) es el 78% y no el 100% de la mezcla respirada y es ese gas el que ocasiona el problema de descompresión y no el O₂ que se metaboliza.

Valor M: valor máximo admisible de saturación de un compartimiento determinado justo antes de romper el equilibrio o entrar en supersaturación con respecto a la presión ambiental. No todos los tejidos tienen las mismas tasas para emerger, las mismas van desde 1,55:1 a 3,15:1. Esto hace que se calculen nuevos tiempos de fondo teniendo en cuenta los distintos compartimientos hipotéticos.

Los buceos poco profundos están regidos por los compartimientos de los tejidos lentos. Los buceos medios o medio profundos están regidos por los compartimientos de los tejidos intermedios.

Los buceos profundos están regidos por los compartimientos de los tejidos rápidos.

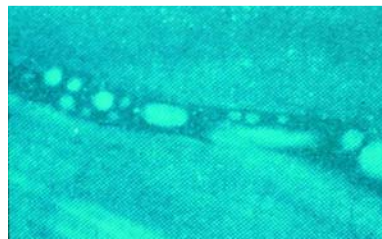
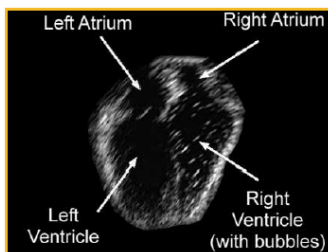
En los 50' y 60' se introducen cambios en las tablas con la incorporación de los Valores M, en 1965 la US NAVY genera las nuevas tablas y luego produce nuevas modificaciones en 1984, y en 1993 la NEDU reduce la velocidad de ascenso de 18 a 9 mts./min.

Bühlman: Aumenta los compartimientos que usó Haldane de 5 a 16 pero es básicamente lo mismo solo que más conservador.

Tanto Bühlman como Haldane sostenían que la saturación y la desaturación eran *exponenciales* (E - E). Investigaciones posteriores determinan que en el caso de la saturación estaban en lo correcto, pero la desaturación es *lineal* (E - L)

Donde están las burbujas?

El sistema cardiovascular del cuerpo humano es solo el 8% del total de los tejidos del cuerpo.



El Video Doppler analiza y nos permite ver las burbujas en sangre del circuito venoso y solo detecta burbujas en movimiento y de un diámetro mínimo de 20µ, en realidad mide solo un 3% de lo que realmente ocurre. Para investigación está muy bien y para el diagnóstico de anomalías cardíacas entre otras, pero para el buceo no es muy representativo.

Conclusión de los modelos de gas disuelto:

En resumen todas las tablas Haldaneanas usadas hasta aquí están en realidad "tratando" al buzo en alguna medida, porque ya tienen que manejar las burbujas formadas (fase gaseosa) y obligan al mismo a permanecer en las distintas etapas durante el ascenso, por lo general muy cerca de la superficie por períodos muy prolongados para eliminar parte de las mismas hasta poder seguir ascendiendo hacia la superficie. Esta es la base del modelo de descompresión formulado por Haldane, maximizar el gradiente.

- Los modelos de gas disuelto (ej. Haldaneanos) traen al buzo lo más cerca a la superficie posible para maximizar el gradiente de presión entre los tejidos y la presión ambiente; manteniendo el gradiente en un punto justo por debajo de donde comienza la formación de burbujas.

- Las paradas son formas de permitir a los tejidos desaturarse lo suficiente antes de ascender a la próxima etapa.
- A pesar de que estos modelos han funcionado durante años, hay algo que está faltando...

Paradas Profundas.

Este modo de traer al buzo hacia la superficie le implica un estrés fisiológico muy grande y un mayor riesgo de adquirir EDC, las tablas Haldaneanas no son tablas de descompresión en realidad, no incorporan la física correcta.

RGBM, Modelo de 2 Fases (Nueva Era) 1992

Gas disuelto + Micro-núcleos preexistentes

Desarrollado por: **Dr. Bruce R. Wienke NAUI # 5343**

Doctorado en Física en Mecánica de la Burbuja, Director del NEST (Nuclear Emergency Safety Team) Los Alamos National Laboratory, Miembro Comité Asesor NAUITEC Dep.

Entrenamiento, Miembro Comité Asesor NAUI Rebreathers, Comité Directivo de NAUI.

Buceo Técnico: El tiempo total de descompresión es menor en comparación con modelos de una sola fase (Haldane), gracias a la incorporación de paradas profundas.

Buceo Recreativo: Los tiempos de fondo de buceos repetitivos son más extensos por la reducción de volumen acumulativo, gracias a la parada de seguridad profunda y reducción del gradiente.



Unica agencia con su propio modelo de descompresión moderno que se aplica en varios campos del buceo militar, científico, técnico y deportivo.

RGBM: modelo de dos fases, incorpora la física correcta en la cual se basa.

El Modelo de 2 Fases introduce el concepto de "paradas profundas".

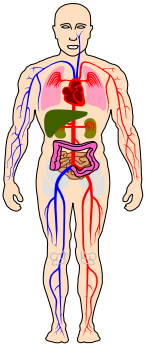
2 Fases:

- 1. El gas se incorpora durante la inmersión (difunde, por ley de Henry)
 - 2. Existen previo a la inmersión micro-núcleos de $\varnothing 1\mu$ (1/3 del tamaño del glóbulo rojo) también llamados semillas (todavía se desconoce su origen), los mismos permanecen estables a presión constante pero cuando varía el gradiente de presión, pueden variar su tamaño.
- Asume que durante la descompresión, un determinado radio crítico va a separar aquellas burbujas que van a crecer de aquellas que van a contraerse.
 - Requiere de paradas profundas. La presión a profundidad "fuerza" gas fuera de la burbuja (crash - dive).
 - Rastrea ambos, el tamaño y el volumen acumulativo de la burbuja.
 - Asume que durante la compresión las burbujas formadas por micro-núcleos de semillas de gas son aplastadas a menor tamaño y estabilizadas.

Hay que considerar distintos factores:

- . Nacimiento de la burbuja.
- . Gas disuelto en nuestro cuerpo.
- . Excitación del micro-núcleo desde la fase libre y el disuelto en tejidos.
- . La agregación de burbujas.
- . El daño y la isquemia (paso anterior a la necrosis) del tejido, causada por la agregación de burbujas.

En síntesis **RGBM** tiene como objeto controlar o minimizar el crecimiento de las burbujas. El enfoque de la fase doble considera ambos, el gas disuelto y el gas en estado libre para que los buzos puedan realizar su descompresión en una amplia variedad de condiciones: Multidía, Multinivel, No-deco, Descompresión, Mezcla de Gases, Saturación, Altitud.



La física correcta:

Coalescencia o agregación (unión de burbujas, convirtiéndose en una más grande)

Tribonucleación (variación de la velocidad por rozamiento en las paredes de las venas, arterias y todos los tejidos en general, fundamentalmente cuando desvían la dirección o sentido de circulación).

Cavitación (crecimiento por agitación).

- RGBM minimiza el crecimiento de la burbuja y el volumen acumulativo durante la descompresión mientras que reduce el insulto fisiológico y el tiempo total de descompresión.
- NAUI incorporó desde el 2003 en los buceos recreativos, como medida para ampliar los márgenes de seguridad, **las paradas profundas** realizadas por NAUI TEC en el buceo técnico (regla de medios).

RGBM y Protocolo de Parada de Seguridad Profunda de NAUI:

***Regla de Medios:** Se aplica en todo buceo deportivo "No-Descompresivo" que sean más profundos de 12 metros.

Se detiene al buzo por **1 minuto** a la mitad de la máxima profundidad alcanzada (presión hidrostática) en ese buceo, luego de esta parada se asciende a una presión menor.

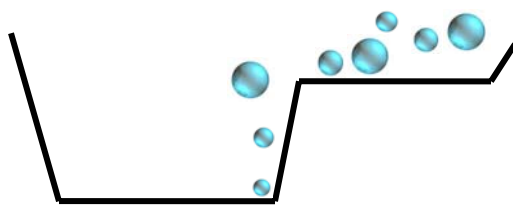
La parada de seguridad normal a 5 metros por 3 a 5 minutos también se incorpora como reglamentaria. Es decir en total la parada de seguridad en buceo deportivo se mantiene por el mismo tiempo pero dividida en dos estaciones de presión separadas.

Este protocolo se incorpora en NAUI desde el 2003 y es obligatorio en todos los buceos deportivos. Actualizaciones, Revista *Sources, de NAUI*.

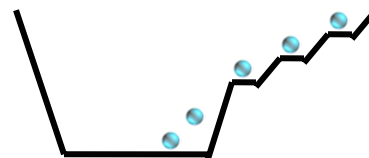
Viene del buceo técnico y la implementación del modelo RGBM de NAUI.

Haldane vs. RGBM

Haldane – modelo gas disuelto



RGBM – Modelo 2 fases



El modelo **Haldaneano** funciona maximizando el gradiente hasta valores máximos permisibles. Las burbujas son inestables.

El modelo **RGBM** funciona de manera opuesta, reduciendo el gradiente y el volumen acumulativo. Las burbujas se mantienen estables.

Cuadro comparativo en buceo recreativo

<p>Buceo 1: Tabla NAUI estándar (Basada en US Navy) 24 metros/ 30 minutos. Grupo de Salida: G Intervalo en Superficie: 1 hora Grupo al final del intervalo: F Buceo 2: 17 metros Máximo tiempo de fondo: 19 minutos.</p>	<p>Buceo 1: Tabla NAUI RGBM 24 metros/ 30 minutos. Intervalo en Superficie: 1 hora Buceo 2: 17 metros Máximo tiempo de fondo: 55 minutos!</p>
---	---

NAUI WORLDWIDE
DIVE SAFETY THROUGH EDUCATION
Reduced Gradient Bubble Model (RGBM)
Dive Table - Air
Sea Level to 2,000 ft / 610 m

DIVE ONE				DIVE TWO				DIVE THREE			
MAX DEPTHS	MDT	fsw	msw	MAX DEPTHS	MDT	fsw	msw	MAX DEPTHS	MDT	fsw	msw
130	40	10	80	24	30	30	9	150			
120	36	13	75	23	30	30	9	150			
110	33	16	70	21	40	30	9	150			
100	30	20	65	20	40	30	9	150			
90	27	25	60	18	55	30	9	150			
80	24	30	55	17	55	30	9	150			
70	21	40	50	15	60	30	9	150			
60	18	55	45	14	60	30	9	150			
50	15	80	40	12	110	30	9	150			
40	12	110	35	11	110	30	9	150			
30	9	150	30	9	150	30	9	150			

This table is designed for scuba dives employing air.
Read the instructions on the back and seek proper training before using this table or compressed air. Even strict compliance with this table will not guarantee avoidance of decompression sickness.
Copyright © 2001 NAUI Worldwide. All rights reserved. #00211

Copyright 2001 NAUI Worldwide

. Cuadro comparativo en Buceo Técnico:

240 pies (72 mt) por 25 minutos con Trimix 16/40 y deco con O2 a 20 pies (6mt) y 10 pies (3 mt).

fsw	RGBM	ZHL-16B
10	14	3.0
20	8	1.6
30	15	2.6
40	10	1.5
50	9	1.0
60	6	?
70	?	?
80	?	?
90	?	?
100	?	?
110	?	?
120	2	2
130	1	1
140	1	
150	1	
160	1	
170		
180		
190		
200		
210		
220		
230		
240		
B.T.	25	2.5

Prohibido su uso sin Entrenamiento específico

Copyright 2003 NAUI Worldwide

	RGBM	ZHL-16B
Bottom	25	25
Deco	83	125
Total	108	150

Copyright 2003 NAUI Worldwide

En el cuadro se puede ver un ejemplo de la gran diferencia entre el tiempo total de descompresión requerido con RGBM en comparación a ZHL-16B (Bühlman-Haldane), 42 minutos más!

Resumiendo: esta diferencia que se ve en este perfil de buceo técnico muestra la gran desventaja de los modelos haldaneanos o de gas disuelto ya que requieren que el buzo permanezca mucho mas tiempo en el agua. Esto trae como desventaja entre otros puntos lo siguiente: Un insulto fisiológico mucho mayor para el buzo ya que necesita quedarse bajo presión para eliminar parte de las burbujas ya formadas, hay un mayor requerimiento de gas, lo cual cambia la logística del buceo necesitando mas cilindros, mas reguladores etc., y mas pérdida de temperatura por esta mayor permanencia y una deshidratación también mayor. Todos estos factores incrementan notablemente el riesgo de enfermedades descompresivas.

En síntesis hace un poco mas de 10 años que ya estamos frente a una nueva era en cuestión de modelos descompresivos. Los modelos de gas disuelto si bien se han usado durante años no responden a todas las demandas y necesidades de una real descompresión. En cambio los modelos de dos fases toman en cuenta muchas variables que antes no se aplicaban porque no se sabía.

El hombre con su afán de explorar y superarse empuja los límites y siempre va mucho más rápido que la ciencia. Pero tarde o temprano la investigación da sus frutos y está en nosotros aprovecharla y generar los cambios de conducta y hábitos para que esta hermosa actividad sea cada vez más segura.

RGBM: Validación, Comprobación e Implementación:

Los Alamos National Laboratory: Años de experimentación con paradas profundas en buceos con mezclas de gases (Trimix, Heliox, Helitrox, Heliair, Nitrox) sin incidencia de Enfermedades Descompresivas.

NEDU (Navy Experimental Diving Unit): viene realizando muchas inmersiones experimentales para validarlas e implementarlas oficialmente.

NAUI Technical Diving Operation: Desde 1995 ha realizado miles de inmersiones bitacreadas desde los 18 a los 150 metros de profundidad en diversas condiciones sin presentar incidentes.

NAUI: Las implementó oficialmente desde el año 2001 siendo obligatoria su enseñanza y uso para los todos los cursos de buceo deportivo y técnico.

Computadoras de Buceo que utilizan el modelo RGBM modificado y RGBM 100%:

-SUUNTO, MARES M1 RGBM, Zeagle. Software Abyss, Gap, Atomic Aquatics, Plexus.

-Computadora Explorer de Hydrospace usa 100 % RGBM, la que usa NAUITEC como respaldo en sus buceos técnicos

Factor de incidencia 1/10.000 o menos.

NEST: Nuclear Emergency Safety Team

Doctor Alf O. Brubakk: Universidad de Trondheim, Noruega. Múltiples experimentaciones y comparación con modelo Haldaneano.

"Que tus burbujas se mantengan por siempre silenciosas"

Dr. David Elliot



Autor: **Daniel Millikovsky**

NAUI Course Director #30750, NAUI Nitrox Instructor, NAUITEC Trimix II Instructor, DAN Instructor Trainer, ASHI First Aid & CPR Instructor Trainer.

ARGENTINA DIVING

Centro de Desarrollo de Instructores NAUI Pro Platinum #1526

www.argentinadiving.com / info@argentinadiving.com

tel: 0237 - 487 - 5179 Cel: 155 - 853 - 3420