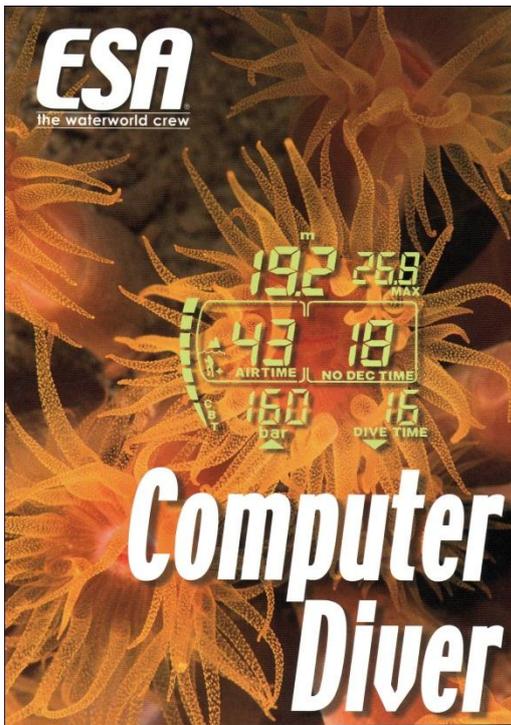


La Planificación en el Buceo: Nuevo Protocolo de Ascenso en las Inmersiones Recreativas, por Ramon Verdaguer / SUBZERO, basado en los datos proporcionados por Mario Leonardi /DAN Europe

A menudo me consultan acerca del orden de compra de los elementos del equipo de buceo. Mi respuesta sigue siendo, invariablemente, la misma: en primer lugar, el equipo ligero y, si tenemos una talla estándar (sino, la opción de comprar un traje a medida tiene prioridad), la siguiente compra debería ser el ordenador. Considero que una de las prioridades del buceador principiante es aprender a planificar sus inmersiones. Y para ello, su instructor le debe de enseñar a familiarizarse con el manejo de dos útiles: las tablas y el ordenador.



La principal misión del ordenador de buceo es PLANIFICAR la inmersión a realizar; la segunda, optimizar el tiempo de fondo; y una tercera puede ser, por ejemplo, volcar los datos guardados a un PC para obtener y analizar el perfil de la inmersión realizada, lo que nos permite ir puliendo pequeños errores de planificación y de ejecución.

Habitualmente, la mayoría de los buceadores utilizan la segunda, eludiendo las demás, movidos principalmente por el propio desconocimiento del dispositivo o por carecer de la interface adecuada, Es parecido a lo que sucede con el uso de las aplicaciones informáticas: la mayoría de los usuarios se limitan a aprovechar

una fracción de las posibilidades reales del programa.

La planificación de la inmersión junto al dominio de la flotabilidad conforman la base sobre la que se sustenta el aprendizaje de la técnica del buceo. Y la planificación es la piedra angular en la que se apoya la seguridad del buceador. El submarinista debe de mantenerse dentro de sus propias limitaciones (condiciones físico-psíquicas y entrenamiento), dentro de los límites que impone el equipo (volumen y tipo de gas, configuración del equipo,...) y dentro de las limitaciones que dependen de la propia actividad (entorno, profundidad, tiempo, curva de seguridad, ...).

La utilización de las tablas y/o el ordenador de buceo son indispensable para ayudar a planificar los límites de la curva de seguridad específica para cada momento. Luego, durante la inmersión, el buceador debe de acostumbrarse a intentar adaptarse a lo planificado.

“Plan your dive and dive your plan”, dicen los anglosajones. Pero la idiosincrasia de los latinos difiere bastante de aquéllos. Parece como si aquí los planes se hicieran, no para seguirlos, sino para ser cambiados. Los hábitos del buceador condicionan su seguridad. Sabedores de ello, algunas instituciones se esfuerzan en estudiar los riesgos inherentes a nuestro modo de



bucear y a diseñar estrategias y protocolos de actuación para intentar formar e implicar al buceador en su propia seguridad, intentando paliar nuestros malos hábitos de buceo.

Desde hace más de una década, organizaciones como DAN Europe buscan el apoyo de otros organismos y asociaciones para lograr la complicitad de los buceadores en esos proyectos de investigación sobre su propia seguridad.

Así nació el proyecto Diving Safety Lab (D.S.L.) de DAN Europe, cuyas recomendaciones han logrado implantarse en los algoritmos de las modernas versiones de los ordenadores de buceo, como herramientas para ayudar a la planificación.

Del mismo modo, y conscientes de que no todos disponen de ordenadores con ese tipo de algoritmos implantados, DAN Europe ha elaborado una serie de recomendaciones que han desembocado en un protocolo final denominado **Nuevo Protocolo de Ascenso** en las inmersiones para los buceadores recreativos. Más abajo veremos un ejemplo de cómo planificar un buceo con ayuda de las tablas y su posterior análisis del perfil obtenido mediante un ordenador de inmersión.

Mario Giuseppe Leonardi, ingeniero informático e instructor de submarinismo de la Federación Italiana, lleva más de 30 años dedicado al cálculo numérico relacionado con las tablas de descompresión. Es el autor del libro “La descompresión al ordenador. Análisis teórico-práctico del fenómeno descompresivo y del software para controlarlo”, y del *software* didáctico “Immersioni” (www.lmgsoft.com) distribuido junto con el libro y que ha sido adoptado por DAN Europe como programa de referencia para la conversión y el estudio de los datos volcados desde los diferentes ordenadores de buceo utilizados por los miles de buceadores voluntarios que alimentan a la base de datos de DAN.

Leonardi es el autor del artículo que sirvió a la FIPSAS y a DAN Europe para publicitar el nuevo protocolo de ascenso y que, con permiso de DAN Europe, intentaremos resumir a continuación, cuya presentación me servirá además para introducir un ejemplo de planificación de una inmersión recreativa:

“A principios de 2004, la FIPSAS, en colaboración con el equipo de DAN Europe, liderado por el Dr. Alessandro Marrone y con los investigadores del Centro Hiperbárico de Ravenna, coordinados por el Dr. Pasquale Longobardi, elaboraron y publicaron un protocolo de ascenso que mejoraba notablemente los márgenes de seguridad. Este hecho convertía a la Federación Italiana de Pesca Submarina y Actividades Subacuáticas, FIPSAS, en una de las primeras didácticas de enseñanza del buceo en adoptar las paradas de descompresión profunda (“deep stops”) en su propio protocolo oficial de ascenso, creando un sistema de fácil memorización y precursor, en cierto modo, del concepto de “descompresión mnemotécnica”.

Este hecho ayudó a la difusión del concepto de “descompresión con paradas profundas”. Con posterioridad, los estudios efectuados por DAN Europe y otros investigadores de fama mundial y la introducción de procedimientos de ascenso en los algoritmos instalados en algunos de los principales ordenadores de buceo de última generación, han demostrado la validez de dicha elección en el protocolo de ascenso en inmersiones recreativas.

Hoy en día, seis años después y a la luz de los nuevos resultados científicos y a la evidencia de los más de 50.000 perfiles de inmersión recopilados por la base de datos de DAN Europe, a través de colaboradores voluntarios de todo el mundo, se ha perfeccionado el protocolo de ascenso original, publicando una nueva y mejorada versión que ha visto la luz a principios del pasado verano.



Veamos que nos dice este Nuevo Protocolo de Ascenso:

Campo de Aplicación:

A todas aquellas inmersiones (didácticas y recreativas) efectuadas con escafandra autónoma y respirando aire comprimido, a nivel del mar y dentro de los parámetros de la curva de seguridad establecida en la versión más reciente de las Tablas de la US Navy.(versión 6ª del US Diving Manual publicado el 15.04.08). La parada de descompresión profunda será obligada para todas las inmersiones que superen los -18m; en caso contrario, se efectuará una parada de seguridad a -6m. y por espacio de 3 minutos, seguida de la emersión, a una velocidad no superior a los 3 metros/minuto.

Velocidad de Descenso:

No puede ser superior a 23 metros/minuto.

Abandono del fondo:

Para aquellas inmersiones con una profundidad máxima superior a los -18m, se debe anticipar el abandono del fondo 2 minutos y 30 segundos respecto al tiempo de fondo previsto, con el fin de compensar la correspondiente parada de descompresión profunda.

Velocidad de Ascenso:

Será de 9 metros/minuto (o sea, unos 3 metros cada 20 segundos), desde el fondo hasta los -6 metros.

Parada Profunda (*Deep Stop*):

Se efectuará a la mitad de la máxima profundidad alcanzada y por espacio de 2 minutos y 30 segundos, si se ha superado los -18 m de profundidad máxima.

Parada de seguridad (*Safety Stop*):

Se efectuará a -6 m y por espacio de 3 minutos y siempre que se haya superado los -6 m de profundidad máxima en la inmersión.

Velocidad de Emersión:

Nunca superior a los 3 metros/minuto (1 metro cada 20 segundos) y desde 6 metros a la superficie.

Observaciones:

Para todas aquellas inmersiones que no entren dentro de los parámetros especificados anteriormente, son válidas las indicaciones de la versión más reciente de las Tablas de la US Navy. (revisión # 6 del U.S. Diving Manual, publicado el 15 de Abril de 2008).

El protocolo no contempla las inmersiones efectuadas con Nitrox (EANx),
ni las inmersiones técnicas efectuadas con mezclas de otros gases,
ni las inmersiones en altitud,
ni aquellas inmersiones realizadas fuera de la curva de seguridad.

Las limitaciones relativas al campo de aplicación del protocolo se deben a que la mayoría de los datos experimentales recopilados por DAN Europe dentro de su proyecto DSL (Diving Safety Lab) se refieren a esa tipología de inmersión (buceos realizados con aire, únicos o repetitivos y llevados a cabo a nivel del mar).

El estudio de la aplicación de otros tipos de buceo excluidos en este protocolo está aún en fase de evaluación, lo que "obliga", en cierto modo, a una actualización de dicho protocolo a medida que vayan apareciendo más conclusiones y resultados derivados de los estudios que lleva DAN Europe a cabo con el citado proyecto DSL.

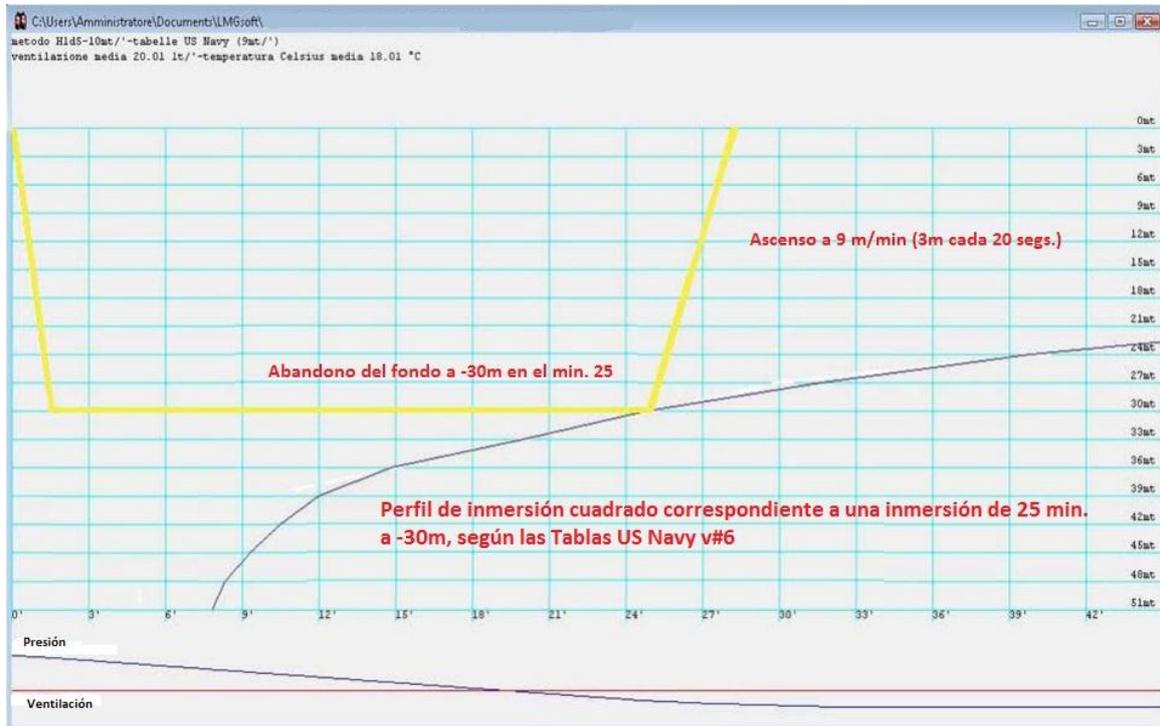
Con el fin de clarificar conceptos, veamos su aplicación en la práctica:

- Fijada la profundidad máxima de la inmersión y el tiempo de fondo (que no debe de superar el tiempo máximo previsto en la curva de seguridad a aquella profundidad), el abandono del fondo debe de ser anticipado en 2 minutos y 30 segundos respecto al tiempo de fondo previsto, con el objetivo de compensar la parada profunda;
- Desde el fondo se asciende a una velocidad constante de 9 m/min. hasta alcanzar la mitad de la profundidad máxima;
- A dicha cota se efectúa una parada profunda de 2 minutos y 30 segundos;
- Después se continúa el ascenso, siempre a la misma velocidad, hasta llegar a los -6m ;
- A esta cota se efectuará una parada de seguridad de 3 minutos;
- Finalmente, se ascienden estos últimos 6 metros a una velocidad de emersión no superior a los 3m/minuto.

¿Por qué se efectúa la parada a la mitad de la profundidad máxima?

- La indicación de efectuar una parada profunda a la mitad de la máxima profundidad alcanzada (en los límites de aplicación del protocolo), y no a la cota dónde se encuentra la mitad de la presión máxima (es decir, 5 m. más profundo) ha sido adoptada por una cuestión de simplicidad mnemotécnica (fácil de recordar) y también para confirmar que el criterio de seguridad conocido como “relación de Haldane” o “relación del 2:1” o “regla de la mitad de las presiones parciales”, que fue la principal causa matemática que motivó la ausencia de paradas de descompresión profundas en las primeras tablas de descompresión y en los primeros algoritmos descompresivos.
- Todos los algoritmos descompresivos más recientes buscan, con muchas y muy diversas soluciones, corregir esta impostación

matemática inicial, disminuyendo la inclinación de los valores “M” (en cristiano, los máximos valores admisibles de tensión del gas inerte) para tratar de restaurar el histórico criterio de seguridad basado en el gradiente, una simple diferencia, entre presión parcial del gas inerte en



estado gaseoso y la presión (tensión) del gas inerte en fase disuelta.

Veamos un ejemplo:

- Planifiquemos una inmersión a -30m durante 25 min. en el límite de la curva de seguridad (CS):

Este sería el perfil cuadrado teórico correspondiente a la planificación de la inmersión a -30m durante 25 min:

- Las tablas de descompresión de la US Navy confirman que la inmersión a -30m durante 25 minutos cae dentro de los límites de aplicación del protocolo (dentro de la curva, aunque justo en el límite).
- El perfil cuadrado teórico propuesto por el nuevo protocolo prevé que el buceador llegue al fondo al cabo de 1 minuto y 20 segundos.
- El nuevo protocolo aconseja que el buceador abandone el fondo antes del tiempo previsto (alrededor del minuto 22,5 desde el inicio de la inmersión).
- Aproximadamente y, respetando la velocidad de ascenso, al cabo de 1 minuto y 40 segundos de abandonar el fondo, el buceador llega a la cota de los -15m, donde realizará la parada profunda, de 2 minutos y 30 segundos de duración.
- Al finalizar la parada, el buzo reanuda el ascenso, a la velocidad de 9 m/min, hasta alcanzar la cota de la parada de seguridad: - 6metros.
- Aquí deberá permanecer 3 minutos, transcurridos los cuales iniciará la emersión, a la velocidad de 3m/min, lo que le llevará 2 minutos.

Nota:

El principio fundamental del protocolo es que cada inmersión debe ser planificada previamente mediante el uso de las tablas o la función “planning” del ordenador, para ver si la inmersión cae dentro de los límites de la curva de seguridad.

1- Tabla de descompresión

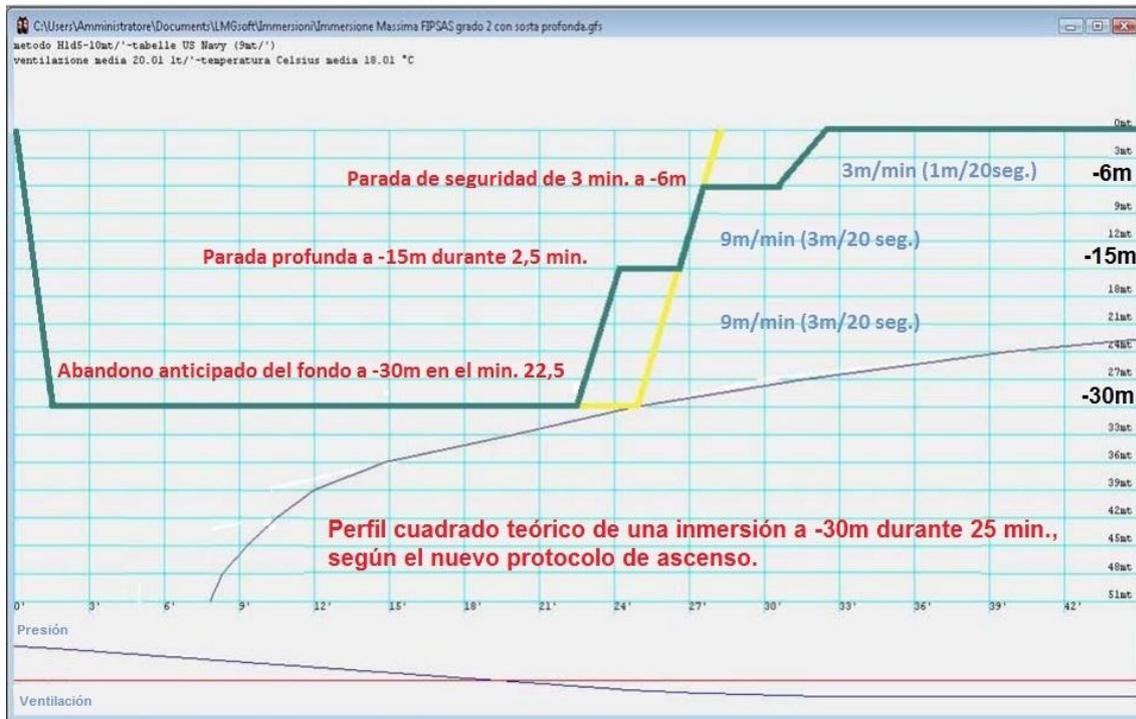
Velocidad Descenso= 23m/min. Velocidad Ascenso= 9 m/min

AIRE

6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	prof.
		6	6	6	8	8	8	6	6	6	6	6	6	tappe
26	17	12	9	7	6	5	4	4	3	3	2	2	2	A
43	27	20	15	12	10	9	7	6	6	5	4	4	3	B
61	38	27	21	17	14	12	11	9	8	7	6	6	5	C
82	50	36	28	22	19	16	14	12	11	10	9	8		D
106	62	44	34	28	23	20	17	15	14	12	10	10		E
133	76	53	41	33	28	24	21	18	16	15			10	F
165	91	63	48	39	32	28	24	21	19		15	1		G
205	107	73	56	45	37	32	28	25	20	20	2		15	H
256	125	84	63	51	42	36	30		25	3		20	4	I
330	145	95	71	57	47	39	35	4	30	3				J
461	167	108	80	60	48	45	10				30	14		K
illim.	193	121	89	70	7	55	9		40	14	35	15		L
	223	135	92			60	14							M
	260	151	100	4	80	14								N
	307	163	110	8										O
	371	180	14											Z

ATENCIÓN: EL USO DE ESAS TABLAS NO EXCLUYE TOTALMENTE EL RIESGO DE UN ACCIDENTE DE DESCOMPRESIÓN. SED PRUDENTES EN LA PLANIFICACIÓN.

Por lo tanto, el perfil teórico planificado para nuestra inmersión, basado en el nuevo protocolo, quedaría así:



Límites de tolerancia del protocolo de ascenso:

- La velocidad de ascenso de 9 metros/minuto debe de ser respetada todo lo posible, permitiendo una mayor ralentización pero nunca por debajo de los 6 metros/minuto o una mayor aceleración, que en ningún caso debe de sobrepasar los 12 metros /minuto.
- El tiempo de la parada profunda puede oscilar entre los 2 y los 3 minutos (variando el tiempo de fondo en consecuencia), lo que permite una aplicación práctica más simple del protocolo, en el caso de no disponer de instrumentos que señalen los segundos.
- La parada de seguridad puede efectuarse a una cota comprendida entre los -6 metros y los -5 metros.
- La velocidad de emersión al final de la parada de seguridad debe de efectuarse escrupulosamente a una velocidad no superior a los 3 m/min (para ascender desde los -6m debe de emplearse, al menos, 2 minutos). Esto directamente contribuye a mantener el tamaño reducido (y, por lo tanto, asintomático) a eventuales burbujas presentes al final de la inmersión.

Inmersiones multinivel e inmersiones de perfil cuadrado

- Las tablas consideran todas las inmersiones, incluidas las multinivel, como si fuesen todas de perfil cuadrado, lo que
- no significa que debamos realizar las inmersiones reales como si fueran todas a la máxima profundidad durante el máximo de tiempo
- De hecho, es aconsejable que la inmersión real sea una inmersión multinivel durante la cual se llega ocasionalmente a la máxima profundidad planificada.
- El perfil de la fase operativa de la inmersión real debe de encontrarse totalmente incluido dentro del perfil cuadrado teórico utilizado para la planificación de la inmersión, aunque no deba coincidir con éste
- El perfil de la fase de ascenso y emersión debe de coincidir tanto como sea posible con el perfil cuadrado teórico.

Nota:

- A igualdad de profundidad máxima, la inmersión multinivel es más segura que la inmersión cuadrada que la contiene. Asimismo, las instrucciones de muchos ordenadores de buceo modernos recomiendan evitar perfiles de inmersión cuadrados.

Ejemplo de perfil de una inmersión real:



Ejemplo de perfil de inmersión real correctamente ejecutada según protocolo:



Aplicación del Protocolo en las inmersiones recreativas con ordenador:

- Algunos ordenadores de buceo no contemplan la gestión de paradas profundas (*deep stops*) ni paradas de seguridad; otros modelos calculan automáticamente la profundidad y duración de las paradas profundas (incluso más de una) y las añaden a la parada de seguridad sugerida al final de la inmersión.
- Esto (y la inobservancia de las paradas profundas) explica las diferencias de tiempo que pueden observarse entre buceadores que efectúan una misma inmersión, equipados con diferentes modelos de ordenador.
- La adopción del nuevo protocolo intenta establecer una modalidad de ascenso más similar a las sugeridas por los más modernos ordenadores de buceo.
- En cualquier caso, se aconseja al buceador efectuar la parada profunda, la parada de seguridad y la emersión controlada de acuerdo a lo previsto en el citado protocolo (obviamente, solo si se encuentra dentro de los límites de su aplicación, claro), siguiendo, sin embargo, ulteriores indicaciones más conservadoras que eventualmente pueda proporcionar el ordenador utilizado.

Nota:

- La parada profunda y la parada de seguridad sugeridas por el ordenador son generalmente consideradas como opcionales y, por lo tanto, los algoritmos no introducen penalizaciones en caso de no efectuarse.

Determinación del grupo de presión (tasa de nitrógeno remanente) al final de la inmersión:

- Acabada nuestra inmersión efectuada dentro de la curva de seguridad y, solo si estamos seguros de haberla efectuado exactamente según lo indicado en el protocolo de ascenso, ¿cómo procedemos para programar una eventual inmersión sucesiva (a efectuar transcurrido un intervalo de superficie de al menos 2 horas)?
- ¿Cuál será el grupo de presión al final de nuestra inmersión que deberemos utilizar para planificar otra eventual inmersión sucesiva?
- Lógicamente, el grupo de presión vendrá indicado por la máxima profundidad alcanzada y el tiempo de fondo (sin restarle los 2 min. y 30 seg.); es decir, en el ejemplo precedente, -30m y 25 minutos. Grupo= H

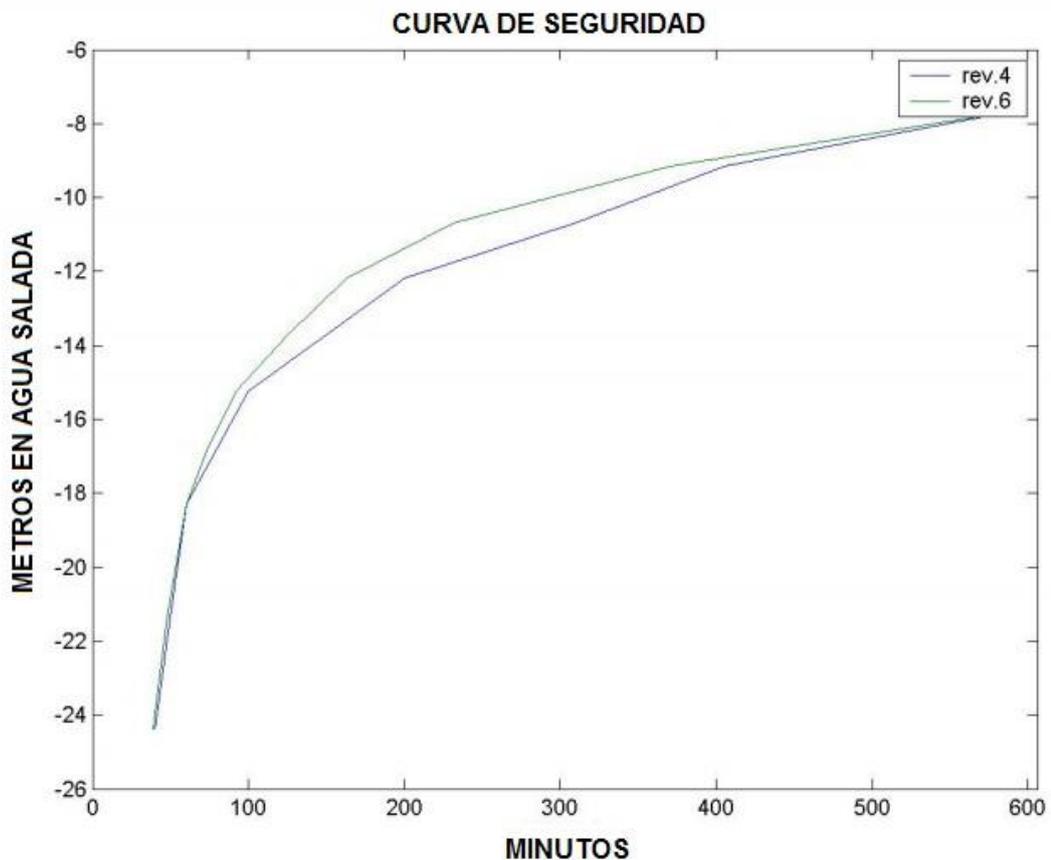
Nota:

- El abandono anticipado del fondo a la máxima profundidad ha sido introducido para compensar, en términos de nitrógeno absorbido, el tiempo transcurrido a la parada profunda y a la parada de seguridad, de modo que la aplicación del nuevo protocolo no altera de manera significativa el grupo de presión obtenido utilizando las tablas en el modo clásico.

Nuevos límites de No Descompresión

- La aplicación del Protocolo de Ascenso con Parada Profunda aumenta el margen de seguridad de las inmersiones recreativas en curva.
- Aunque ése no sea el único factor de seguridad que DAN Europe y la FIPSAS han introducido en los procedimientos de inmersión.
- La adopción de las Tablas de descompresión de la US Navy, 6ª revisión, comportan la adopción de una nueva curva de seguridad.
 - o En los últimos años, de las convenciones de medicina hiperbárica y de la literatura especializada ha surgido la idea comúnmente aceptada de no efectuar inmersiones en el límite de la curva de seguridad, aconsejando mantenerse ampliamente dentro de ella o, eventualmente, salir decididamente fuera y efectuar las correspondientes y oportunas paradas de descompresión.

- Lógicamente, después de que la curva de seguridad permaneciera inmutable durante casi 50 años, habían surgido dudas sobre su validez, especialmente en la franja de los 0 a los -24m de profundidad, la más “frecuentada” por nuestros buceadores recreativos.
- Las Tablas de Descompresión de la US Navy, 6ª revisión, han modificado (aunque ligeramente y solo a nivel del parámetro de la profundidad) la histórica curva de seguridad.



Las Tablas de Descompresión US Navy 6ª revisión, contemplan una nueva curva de seguridad con los tiempos límite de No Descompresión inferiores respecto a la versión anterior. (cotas de profundidad comprendidas entre los -9 y -24 m)

En particular, y para los tiempos límite de No Descompresión,

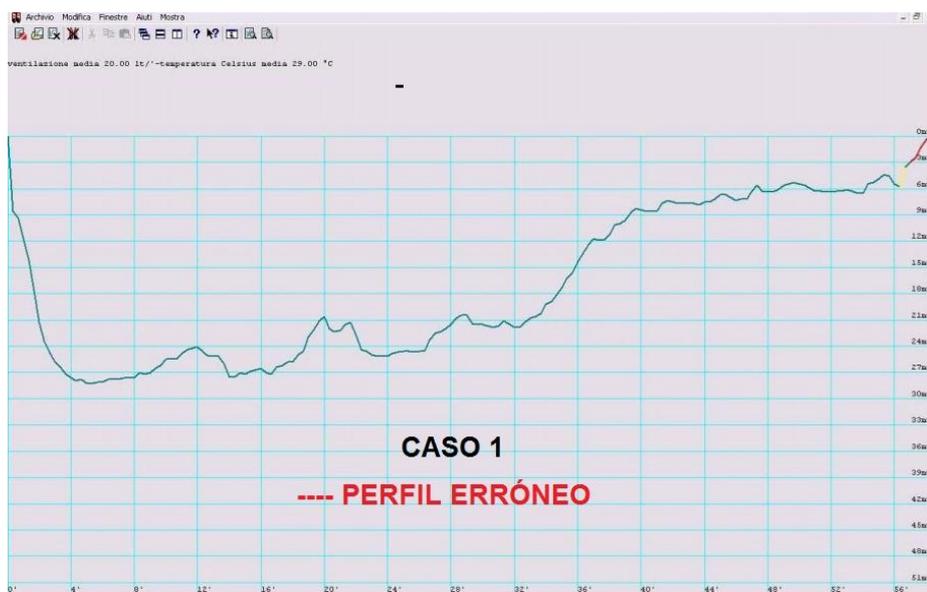
- A -9 metros (30 fsw), se pasa de 405 minutos a **371** minutos
- A -10 metros (35 fsw), se pasa de 310 minutos a **232** minutos
- A -12 metros (40 fsw), se pasa de 200 minutos a **163** minutos
- A -15 metros (50 fsw), se pasa de 100 minutos a **92** minutos
- A -21 metros (70 fsw), se pasa de 50 minutos a **48** minutos
- A -24 metros (80 fsw), se pasa de 40 minutos a **39** minutos

Para verificar la validez de esta nueva curva, se realizó un rápido test, modificando uno de los algoritmos que estaba originalmente tarado de acuerdo a los parámetros de la vieja curva de seguridad, para reprogramarlo con los parámetros de la nueva curva.

Y se aplicó ese algoritmo a perfiles antiguos de inmersiones que habían originado incidentes, evidenciando en que los casos en que el nuevo algoritmo demostraba la posibilidad de incidentes eran más del doble que los originales.

A continuación se muestran algunos de esos perfiles. En **trazo rojo** se marcan los puntos en los cuales el algoritmo ha señalado la necesidad de efectuar paradas de descompresión más profundas o más largas respecto a las que efectuó el infortunado.

Se encuentran, sobretodo, en los últimos metros del ascenso”







Resumiendo, no existe una fórmula, un algoritmo o un protocolo definitivo que garantice al 100% la seguridad del buceador. Por ello, una planificación prudente de la inmersión junto con el empleo de mezclas respirables más pobres en nitrógeno (Nitrox) es la mejor manera de minimizar el riesgo a sufrir una enfermedad descompresiva.

Aquellas personas que planifican una serie de inmersiones sucesivas (como sucede a los participantes de cruceros de buceo tipo “vida a bordo”, con múltiples inmersiones diarias, durante varios días, se les recomienda el uso de nitrox en todas ellas, o, al menos, en las últimas inmersiones del día, para ayudar a minimizar el gas inerte remanente, así como la inserción de al menos un día de descanso a la semana sin bucear.

DAN Europe continúa con su recopilación de datos y perfiles de inmersión a través de su programa DSL de investigación sobre la seguridad del buceo. Como ya se ha dicho anteriormente, a medida de que se vayan obteniendo nuevas evidencias y conclusiones, se irán actualizando los protocolos de seguridad que deberán regir nuestros buceos para volverlos cada vez más seguros sin mermar la actividad, la diversión y la aventura que supone la inmersión recreativa.

Si alguno de los lectores está interesado en colaborar con el proyecto DSL, puede contactar conmigo a través de la web SUBZERO o ponerse en contacto directamente con DAN Europe. Periódicamente, y coincidiendo con algún evento (ferias, *photocontests*, festivales, presentaciones) relacionado con el mundo del buceo, se organizan gratuitamente cursos de DAN Research Field Operator dónde el alumno aprende a recopilar los datos y perfiles de sus inmersiones y a mandarlos a la base de datos de DAN para su procesamiento y análisis. ¡Te esperamos! Felices y seguras inmersiones.

Ramon Verdaguer

DAN Instructor Trainer y DSL Research Technician
 ESA/CMAS Course Director
 SUBZERO Tech&Training
www.subzero.cat

Depth m	Doppler No-Decompression Limit (min)	Pressure Group										
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
3		60	120	210	300							
4.5		35	70	110	160	225	350					
6		25	50	75	110	150	190	240	320			
7.5	245	20	35	55	75	100	125	160	190	245		
9	205	15	30	45	60	75	95	120	145	170	205	
10.5	160	5	15	25	40	50	60	80	100	120	140	160
12	130	5	15	25	30	40	50	70	90	100	110	130
15	70		10	15	25	30	40	50	60	70		
18	30		10	15	20	25	30	40	50			
21	40		5	10	15	20	30	35	40			
24	30		5	10	15	20	25	30				
27	25		5	10	12	15	20	25				
30	20		5	7	10	15	20					
33	15		5	10	13	15						
36	10		5	10								
39	5		5									

Profondità Depth EAN 36 m	Profondità Depth EAN 32 m	Profondità Depth AIR m	Gruppo di Appartenenza / Pressure Group										
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
7.5	6.5	4.5	35	70	110	120*							
9	8	5	25	50	75	110	120*						
11	10	7.5	20	35	55	75	100	120*					
13	12	9	15	30	45	60	75	95	120*				
15	13.5	10.5	5	15	25	40	50	60	80	100	120*		
17	15	12	5	15	25	30	40	50	70	80	100	120*	
20	18	15	10	15	25	30	40	50	60	80	70		
24	22	18	10	15	20	25	30	40	50				
28	26	21	5	10	15	20	30	35	40				
31	29	24	5	10	15	20	25	30					
32	27	27	5	10	12	15	20	25					
36	30	30	5	7	10	15	20						
33		33		5	10	13	15						
36		36		5	10								
39		39		5									

* Single dive maximum time with EAN x: 120 minutes
 ** Tempo massimo per immersione singola con EAN x: 120 minuti