

# CONSIDERACIONES MÉDICAS EN EL ESCAPE DESDE UN SUBMARINO SINIESTRADO

Luis Morales Ortiz\*

Max Grez Mancilla\*\*

*Un submarino siniestrado tiene altas probabilidades de consecuencias fatales, sin embargo existen técnicas clínicas que pueden ser adoptadas por la dotación y por el equipo de salud que se encuentre en superficie, para aumentar la sobrevivencia de quienes escapan*



El 13 de agosto del año 2000, se hundió en el Mar de Barents el submarino “Kursk” mientras efectuaba ejercicios la escuadra rusa del norte. La causa fue la explosión del peróxido de hidrógeno usado como combustible para los

torpedos. Murieron sus 118 tripulantes, pero no todos ellos en forma instantánea, sino que 23 sobrevivieron en un compartimiento de popa esperando ser rescatados. El descuido y las malas condiciones en que se encontraba el servicio de rescate submarino de la marina rusa hizo inútiles sus esfuerzos y la reticencia a aceptar la ayuda ofrecida por países de la OTAN para evitar que conocieran secretos de sus submarinos nucleares y la humillación que veían en aceptarla, hizo que cuando ello sucedió, los sobrevivientes ya habían muerto. Las fuertes reducciones presupuestarias que había sufrido la Marina rusa habían hecho su principal víctima

\* Capitán de Navío. Magíster en RR.II. (PUCV) y Diplomado en Dirección de Instituciones de la Salud (U. de Chile).

\*\* Teniente 1º SN. Médico Cirujano (UV), Diplomado en Medicina Deportiva (PUC).

al servicio de búsqueda y rescate submarino.<sup>1</sup>

Posterior a la tragedia del submarino “Kursk”, además de otros acontecimientos relacionados a desastres submarinos, se concordó en la necesidad de contar con un sistema internacional que permitiera coordinar los esfuerzos para llevar a cabo un rescate efectivo en caso de un desastre submarino (DISSUB). En base a esta necesidad, se creó la Oficina de Coordinación Internacional de Escape y Rescate Submarino, ISMERLO, por sus siglas en inglés (International Submarine Escape and Rescue Liaison Office), la cual consiste en un equipo multinacional de coordinación para llevar a cabo operaciones de Escape y Rescate Submarinos en cualquier parte del mundo, conformado por expertos en el área y establecidos en Norfolk – Virginia, Estados Unidos de Norteamérica.

El objetivo principal de ISMERLO es establecer los procedimientos relacionados a este tipo de operaciones y generar la normativa internacional necesaria para que las armadas que cuentan con submarinos y que necesitan realizar una eventual operación de escape y rescate submarino puedan estar preparadas para cumplir con la estandarización producto de la consulta, el consenso y la coordinación de las naciones que operan submarinos. Además de desempeñarse como ente coordinador general de ISMERLO, la Armada de EE. UU. cuenta con el Grupo de Escape y Rescate Submarino, denominado SMERWG (Submarine Escape and Rescue Working Group), que es un organismo subordinado directamente a ISMERLO y es el ente ejecutor o quien operativiza, todas las acciones y procedimientos de un rescate submarino en el lugar del siniestro.

La Armada de Chile, ha tenido una activa participación en SMERWG desde el año 2003 y participa anualmente en los plenarios organizados para discutir nuevas técnicas,



■ Memorial del submarino ruso “Kursk”.

compartir experiencias y conocer sobre nuevo equipamiento para el apoyo en un DISSUB.

La filosofía general para la rebusca y rescate de un submarino siniestrado considera proveer un razonable nivel de seguridad a las más probables situaciones de accidentes de submarinos, usando los elementos más apropiados para este tipo de incidente en cualquier parte del mundo. De esta forma, el rescate es el método preferido para salvar vidas luego de un accidente de submarino debido a que el escape presenta mayores riesgos para los sobrevivientes.

Escape es cuando la tripulación deja el submarino y asciende hasta la superficie sin ayuda externa, mientras que el rescate consiste en abandonar el submarino, siendo asistido por distintos elementos tanto de superficie como subacuáticos.

En un principio, el énfasis se puso en el escape. Es así como en el año 1946 la Royal Navy desarrolló el concepto de escape libre boyante, pues en ese entonces, éste no mostraba diferencias de sobrevivencia en comparación con los dispositivos de respiración asistida durante el rescate. Desde aquel entonces, se ha avanzado mucho en el concepto de rescate, siendo actualmente el método prioritario en un DISSUB; sin embargo, para las Marinas de países que no disponen de estos sistemas o que se encuentran

1. Valdivieso Bravo Germán. “La Tragedia del Submarino ruso “Kursk”. Revista de Marina 2/2010.

alejados geográficamente de aquellas que sí cuentan con el equipamiento necesario, se mantiene como opción el escape ante una catástrofe.

En este artículo analizaremos los factores que afectan a la salud de las personas, en relación con el escape de un submarino y cómo se pueden manejar algunos parámetros y situaciones con el fin de mejorar la sobrevivencia de las dotaciones que logren llevar a cabo dicho procedimiento desde un submarino siniestrado.

### Factores que afectan el tiempo de sobrevivencia de la dotación

El éxito de un escape, ya sea a través de la torrecilla o por departamentos, depende principalmente del entrenamiento de la dotación, que la presión interna del submarino no se eleve significativamente, que la atmósfera interna no sea contaminada por gases nocivos o por niveles tóxicos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y de la profundidad en que se encuentre la unidad. Un cambio importante en estos factores aumenta de forma significativa el riesgo de enfermedad por descompresión inadecuada (EDI).

La conducción inapropiada del ascenso puede llevar a presentar, entre otras afecciones, embolismo arterial gaseoso que, sin re-compresión inmediata, generalmente es fatal, por lo cual es vital para la dotación mantener su certificación en el procedimiento de escape, entrenamiento físico adecuado, estilos de vida saludables (evitar sobrepeso) y contar con el equipamiento necesario para el escape. Además, existen factores físicos y psicológicos que pueden afectar, tanto la decisión de escapar, como la sobrevivencia de la tripulación que logre hacerlo, tales como la temperatura, nutrición adecuada, hidratación e higiene.

Considerando lo anterior, para lograr extender al máximo el tiempo en espera del rescate y de esta manera evitar el escape o hacerlo de forma controlada, se deben controlar las siguientes variables:

#### ■ Presión y atmósfera

Un incremento en la presión aumenta significativamente el riesgo de EDI y de la

mortalidad y morbilidad asociada. La exposición prolongada a una presión atmosférica igual o mayor a 1.6 ATA, con la consiguiente saturación de N<sub>2</sub> en los tejidos, lleva a que el ascenso libre boyante no sea factible. Las consideraciones para el control de la atmósfera se pueden dividir en:

- El control de los eventuales contaminantes atmosféricos, para así prevenir el uso de los dispositivos de respiración de emergencia. Si estos dispositivos son utilizados, la sobrevivencia de la tripulación podría verse afectada, dado que el uso de estos gases presurizados elevará la presión dentro del submarino, resultando en un aumento de la probabilidad de EDI.
- Control de los niveles de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>. El reposo disminuye de forma significativa el consumo de O<sub>2</sub> y la producción de CO<sub>2</sub>; por el contrario, también la reducción de la producción de calor aumenta la probabilidad de sufrir hipotermia lo que lleva al inicio de temblores y escalofríos lo cual, finalmente, eleva el consumo de O<sub>2</sub> por lo que el tripulante debe iniciar las medidas preventivas para la aparición de hipotermia.

El año 2012 fue publicado un estudio<sup>2</sup> que mostró el beneficio del fármaco Propranolol en la disminución de la producción de CO<sub>2</sub>; en este estudio se administraron 40 mgs de Propranolol dos veces al día a ocho voluntarios, dando como resultado una disminución tanto del CO<sub>2</sub> espirado en 6,5% en promedio, así como de la frecuencia cardíaca y presión arterial de reposo, sin embargo no se demostró un menor consumo de O<sub>2</sub> ni efectos colaterales de importancia. Si consideramos que una tripulación que extiende una espera por el rescate durante siete días, esta disminución de 6,5% podría significar aumentar 11 horas, antes que los niveles de CO<sub>2</sub> alcancen valores críticos.

La posibilidad de permanecer a bordo en espera del rescate depende, en gran medida, de la calidad y exactitud de los aparatos en la medición de los gases atmosféricos dentro del casco de presión. Los

2. Reini SA, Fothergill DM, Gasier HG, Horn WG. Propranolol's Potential to Increase Survival Time in a Disabled Submarine, Aviation, Space, and Environmental Medicine x Vol. 83, N° 2 x February 2012.

niveles de O<sub>2</sub> no pueden bajar de 17%, mientras que el CO<sub>2</sub> no puede elevarse por sobre 2.5%. Estos límites son extremos y algunos miembros de la dotación podrían no tolerarlos. Otros gases dentro del submarino podrían afectar la decisión de escapar como por ejemplo, el Cloro proveniente de las baterías contaminadas con agua salada, el Hidrógeno, Monóxido de Carbono y gases derivados del Nitrógeno producto de la combustión, así como también la alta presión parcial de O<sub>2</sub>, puede ser deletérea para la salud de la tripulación.

### ■ Hipotermia e hipertermia

La hipotermia corresponde a una temperatura corporal bajo 35,5 °C, lo cual conlleva a un deterioro funcional generalizado de la víctima. La temperatura del agua en zonas profundas y mares fríos suele ser de unos 5°C, un ambiente con esta magnitud constituye un factor relevante en la sobrevida de la dotación, dependiendo de las características de transferencia de calor del sector donde se encuentren, así como del número de sobrevivientes.

La hipertermia ocurre cuando la temperatura corporal esta sobre lo normal, esta condición es factible de encontrar en un DISSUB debido a submarinos con buena aislación del calor, funcionamiento de las fuentes de ingeniería y en la superficie del mar de regiones con climas cálidos.

La temperatura interna de un DISSUB debería ir descendiendo gradualmente hasta llegar a un equilibrio con la temperatura del agua exterior. Con el objeto de prevenir la hipotermia y los temblores, la dotación deberá intentar permanecer seco y usar ropa extra. Si los trajes de escape se encuentran disponibles, éstos proveerán un excelente aislamiento; por el contrario, si la temperatura aumenta, se deberá beber agua extra así como también realizar la inmersión de brazos o piernas en agua de mar.

## Otros factores que afectan la sobrevida

### ■ Aspectos psicológicos

Trastornos psiquiátricos agudos como crisis de pánico, trastorno por estrés post traumático

y de ansiedad aguda pueden aparecer en los sobrevivientes, así como también síndromes de privación, (nicotina), pueden ser encontrados; en estos casos se recomienda administrar pequeñas dosis de ansiolíticos como Diazepam, para disminuir la actividad del tripulante comprometido y como consecuencia la disminución de la tasa metabólica y la producción de CO<sub>2</sub>.<sup>3</sup>

### ■ Hidratación y nutrición

La deshidratación ocurre antes que las complicaciones por la inanición, por lo cual la ingesta de agua bebestible debe de ser prioritaria; además, la ingesta calórica debe ser gradual y controlada lo cual regula el metabolismo y permite extender las raciones hasta que se intente el escape o rescate. Se estima que las necesidades diarias corresponden a 1 litro de agua y 1.000 a 1.200 calorías, pero en caso que algún tripulante presente hipotermia la ingesta calórica deberá ser aumentada.

Con el reposo los niveles de consumo de glucosa y de producción de CO<sub>2</sub> deberían mantenerse estables, sin embargo al realizar una mínima actividad, el consumo de glucosa aumenta pudiendo producir una hipoglicemia y, consecuentemente, una falla en la termorregulación. El ingerir una dieta rica en grasas y baja en carbohidratos disminuye la producción de CO<sub>2</sub> y previene algunas complicaciones derivadas de alteraciones en la presión parcial de ciertos gases como la toxicidad por O<sub>2</sub>.<sup>4</sup>

### ■ Higiene

Dispositivos para almacenar la orina y la materia fecal son de gran relevancia en la sobrevida de la dotación, ya que al no haber un correcto manejo de estos desechos podrían ocurrir infecciones gastro intestinales, así como también llevar a hipotermia debido a que la orina puede impregnar y mojar la ropa de los sobrevivientes.

## Riesgos médicos asociados con el escape

El escape desde un DISSUB es por sí mismo un evento en el cual se somete al organismo a un

3. Curley MD, Ferrigno M, Lovrinčević MM, Wylegala J, Lundgren CE Extending submarine crew survival by reducing CO<sub>2</sub> production with quickly reversible sedation. *Aviat Space Environ Med* 2010; 81:537-44.

4. Jason M, Valadao, M.D. John A. Vigilante, M.D. Nicholas W. Di George Ketogenic diet for high partial pressure oxygen diving. *Undersea Hyperb Med* 2014; 41(4):331-335.

gran estrés, en donde existen básicamente dos grandes amenazas a la integridad física de los sobrevivientes que realizan el procedimiento: Enfermedad por descompresión inadecuada y barotraumas.

## Procedimiento de escape

El procedimiento puede ser de dos formas:

### ■ Escape de cámara

El submarinista se coloca un traje de escape, diseñado para permitir la respiración y flotabilidad positiva, ingresa a la torrecilla (cámara de escape), cierra la escotilla baja, se procede a la inundación de la torrecilla con agua de mar y una vez igualadas las presiones el submarinista inicia el ascenso hacia la superficie.

### ■ Escape por departamento

La tripulación escapa en forma consecutiva, inundando gran parte del interior del submarino, debido a la magnitud de los daños. En este caso, los drásticos cambios de presión en el ascenso, producirán que el nitrógeno disuelto previamente en los tejidos forme burbujas en éstos, aumentando la probabilidad de EDI a medida que la presión disminuye, lo cual también produce que las cavidades con aire en su interior sufran cambios barométricos y volumétricos que pueden llevar a un traumatismo de los órganos neumatizados, como por ejemplo barotrauma pulmonar con neumotórax, enfisema intersticial y embolia gaseosa; rotura de intestino o esófago; barotrauma de cavidades rígidas como el tímpano, senos paranasales y barotrauma dental, todas estas situaciones requieren como tratamiento la recompresión en cámara hiperbárica de forma inmediata.

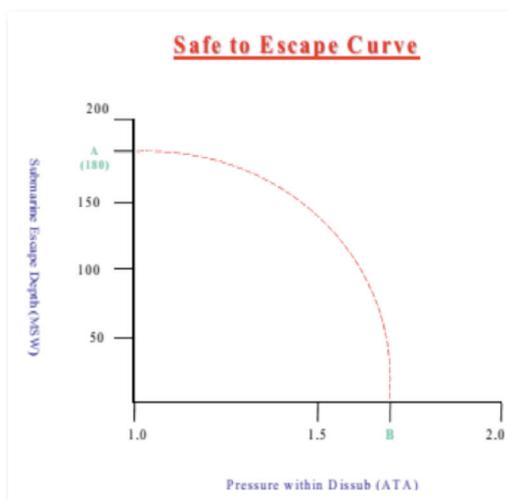
Existen tres parámetros que afectan la seguridad del procedimiento de escape:

- Profundidad a la cual se realiza el procedimiento, ya que a mayor profundidad se requiere un menor tiempo de exposición para la disolución del nitrógeno en los tejidos.
- Tiempo en completar el procedimiento, pues a mayor tiempo de exposición existe más probabilidad de desarrollar una EDI.

- Presión ambiental dentro del DISSUB, si ésta llega a ser superior a 1 ATA, y el submarinista estuvo expuesto por un período prolongado, presentará una mayor cantidad de nitrógeno disuelto en los tejidos, los cuales a las 24 horas se encuentran completamente saturados.

## Curva “Safe to Escape”

En distintas instalaciones, tanto militares como civiles, se han realizado escapes de entrenamiento y experimentales, de estas actividades se dependen estudios que han mostrado resultados que permiten predecir el riesgo de EDI, dependiendo de dos factores principalmente: profundidad de escape y presión barométrica. Con estos resultados se han construido las denominadas curvas “Safe to Escape”.<sup>5</sup>



■ Gráfico 1: (ATP 57).

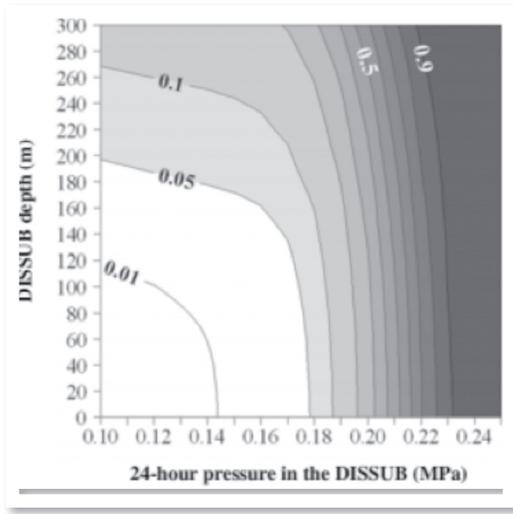
Punto “A” corresponde a la mayor profundidad registrada en un escape.

Punto “B” corresponde a la presión a la cual una rápida descompresión da una probabilidad de 5% de EDI.

La curva se aplica solo cuando:

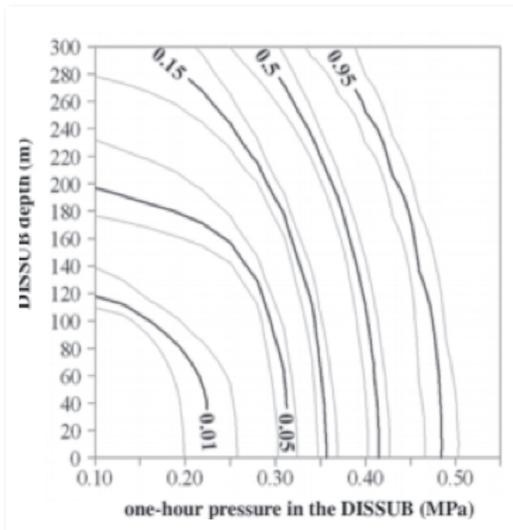
- La mezcla de aire es de un 21% de O<sub>2</sub> y 79% de N<sub>2</sub>.
- Tiempo de fondo no sobrepasa los 4”.
- Velocidad de ascenso de 2.75 m/s.
- Presión durante la compresión debe ser doblada cada 4”.

5. ATP-57(B) The Submarine search and Rescue Manual.



■ Gráfico 2.

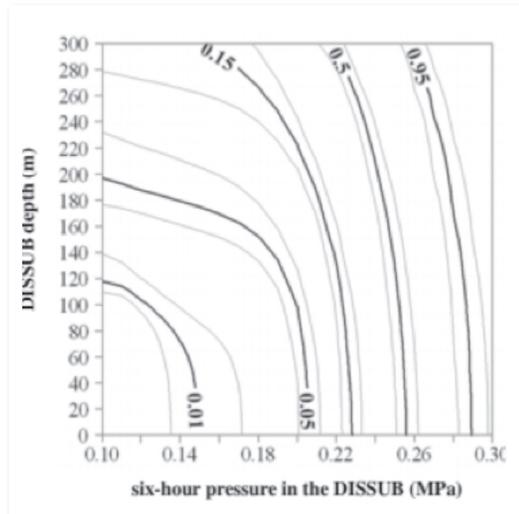
En el Gráfico 2 el área bajo la curva representa la profundidad y presión atmosférica a la cual la probabilidad de sufrir una EDI es menor en un 5 a 10%, con 24 horas de exposición, lo cual se considera un valor razonable para intentar el escape.



■ Gráfico 3: Muestra el contorno de riesgo de 1, 5, 50, y 95% de desarrollar EDI con 6 horas de exposición, línea gris corresponden al 95% de intervalo de confianza.

### Manejo masivo de pacientes con EDI y/o barotrauma

Los sobrevivientes eventualmente tendrán más de una condición que amerite una rápida atención por



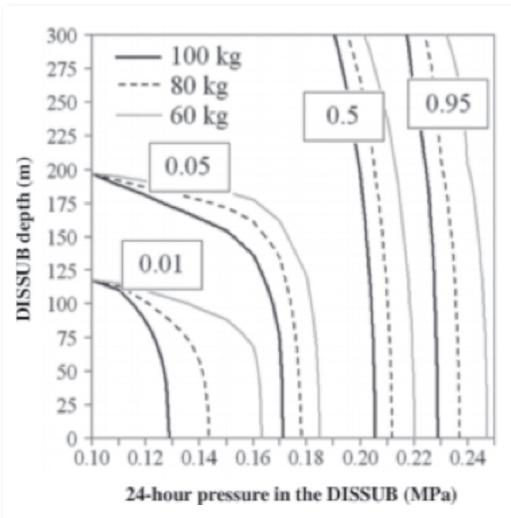
■ Gráfico 4: Muestra el contorno de riesgo de 1, 5, 50, y 95% de desarrollo EDI con 1 hora de exposición, línea gris corresponde al 95% de intervalo de confianza.

parte del personal médico disponible, siendo la EDI tipo 2 y el embolismo arterial gaseoso, condiciones que requerirán de recompresión inmediata en cámara hiperbárica (HBC) y administración de  $O_2$  hiperbárico (HBO); sin embargo, como la cantidad de sobrevivientes será mayor al número de HBC disponibles y limitará eventualmente los bancos de aire y de  $O_2$ , el personal médico especialista en sumersión, deberán diagnosticar, priorizar y manejar a los sobrevivientes, considerando los siguientes aspectos:

- Los últimos en escapar serán los con mayor probabilidad de EDI, debido a que permanecerán por más tiempo expuestos y a que la presión dentro del DISSUB va en aumento a medida que la tripulación va escapando.
- La recompresión es lo más importante en el manejo de una EDI o un barotrauma, por lo que el  $O_2$  debe de ser conservado para los casos más severos de EDI, ya que los bancos de  $O_2$  podrían limitarse en caso que la demanda sobrepase a la oferta y que no puedan ser repuestos a tiempo.
- Se recomienda usar tablas de descompresión de corta duración y que no alcancen grandes profundidades de tratamiento, (bajo los 18 m), ya que esto disminuiría la flexibilidad para ingresar más sobrevivientes en la medida



■ Cámara hiperbárica nacional.



■ Gráfico 5: Muestra el contorno de riesgo de 1, 5, 50, y 95% de desarrollar EDI dependiendo del peso del submarinista en 24 hrs. de exposición. A mayor peso, mayor probabilidad de EDI.

que vayan alcanzando la superficie, incluso, si no hay disponibilidad de más plazas en la HBC, sería recomendable realizar solo recompresiones con el objetivo de salvar la vida y no realizar la tabla completa, objeto obtener el mayor rendimiento y aumentar la sobrevivencia de los tripulantes mediante el aumento de la cobertura de la HBC.

- No dejar de evaluar a los pacientes asintomáticos, pues tanto la embolia gaseosa como la EDI pueden dar síntomas de inicio tardío y aquellos pacientes van a requerir tratamiento en HBC.
- Los sobrevivientes que no tengan prioridad clínica o que no logren ingresar a la HBC deberán de ser manejados con oxígeno puro en altas concentraciones, recibir hidratación abundante, estabilización de temperatura corporal, manejo de lesiones o co-morbilidades asociadas y traslado prioritario a la HBC más cercana sin sobrepasar los 1000 pies o 300 m de altura sobre el nivel del mar durante el traslado.

\*\*\*

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Nick Stewart *Submarine escape and rescue: a brief history*, Volume 17 N° 1. *Journal of Military and Veterans' Health*. Australasian Military Medicine Association.
2. Reini SA, Fothergill DM, Gasier HG, Horn WG. *Propranolol's Potential to Increase Survival Time in a Disabled Submarine*, *Aviation, Space, and Environmental Medicine* x Vol. 83, N° 2 x February 2012.
3. Curley MD, Ferrigno M, Lovrinevic MM, Wylegala J, Lundgren CE *Extending submarine crew survival by reducing CO2 production with quickly reversible sedation*. *Aviat Space Environ Med* 2010; 81:537–44.
4. Jason M. Valadao, M.D. John A. Vigilante, M.D. Nicholas W. DiGeorge *Ketogenic diet for high partial pressure oxygen diving*. *Undersea Hyperb Med* 2014; 41(4):331-335.
5. ATP-57(B) *THE SUBMARINE SEARCH AND RESCUE MANUAL*.
6. Loveman GAM, Seddon FM, Thacker JC, Stansfield MR, Jurd KM. *Submarine tower escape decompression sickness risk estimation*. *Undersea Hyperb Med* 2014; 41(4):315-329.
7. <http://medicinasalud.org/>