

# DENTRO DE POCO EN TU ORDENADOR DE BUCEO

Hace ahora veinticinco años desde que los ordenadores de buceo pasaron a ser de uso general. Han cambiado muchas cosas desde entonces, especialmente en ciencia y tecnología. A pesar de esto, el mecanismo básico de los ordenadores de buceo a penas ha cambiado. Es verdad, ahora tienen nitrox y trimix y se han añadido varios “detallitos”, pero los algoritmos presentes en todos los ordenadores de buceo que se comercializan ahora están todavía basados en el modelo de Haldane de compartimentos paralelos independientes, modelo que existe desde hace cien años. (“¡Ni de broma!”, pensarás. “¿Qué pasa con los modelos de burbujas?” Tranquilo, ahora vamos).

Esto no sería un problema si el modelo de Haldane funcionase muy bien. Después de todo, los tiburones han sobrevivido sin a penas cambios durante millones de años y están considerados, no tan anticuados, sino casi tan perfectos en diseño por su función y supervivencia. El modelo de Haldane no está ni remotamente al mismo nivel. Su atractivo inicial fue su relativa simplicidad. Cuando nació el ordenador de buceo ya existían, desde hacía algún tiempo, teorías para modelos interconectados más realistas. Sin embargo, los primeros ordenadores de buceo ya podían implementar el modelo de Haldane, y un modelo más complejo hubiese sido demasiado para su capacidad de memoria y microprocesador.

Ahora, obviamente, estamos en una era muy distinta en la que la potencia y la memoria de los ordenadores son temas de interés, y donde los compartimentos paralelos independientes no pasan el examen. Un número de estudios médicos y fisiológicos han examinado las velocidades a las que varias sustancias, incluidos los gases, se distribuyen y se eliminan en los tejidos corporales. ¿Cuál fue la conclusión general? Los resultados no concordaban con el modelo de Haldane, donde los compartimentos estaban aislados los unos de los otros, sino que sugerían una distribución compartimental más interconectada.

He aquí un HUD en un modelo nuevo interconectado que seguramente será parte de tu futuro como submarinista<sup>1</sup>: Saul’s ICM. La figura 1 muestra, a la izquierda, los aspectos básicos de un modelo tipo Haldane, y a la derecha, Saul’s ICM. Las flechas indican por donde pueden entrar y salir los gases de los compartimentos, por lo que la figura muestra las diferencias en cuanto a conectividad entre los dos modelos. Algo un poco menos obvio es lo que representan los compartimentos en los diferentes modelos. Cada uno de los compartimentos en el modelo de Haldane representa tejido que puede originar una enfermedad descompresiva. (Ese es el motivo por el que todos los compartimentos son rojos: por peligro).

Los tejidos que no sufren una lesión descompresiva no juegan ningún papel en el modelo simple de Haldane. Aunque los riesgos de los tres compartimentos en un modelo de Haldane se incluyen al calcular el riesgo de descompresión, en la práctica el riesgo de cualquier inmersión en particular deriva básicamente del riesgo de un sólo compartimento (el “compartimento de control”), sin a penas intervenir los otros compartimentos. Por otra parte, en el modelo ICM de Saul, sólo el compartimento central “en el que recae el riesgo” (rojo) representa el tejido con riesgo de una lesión descompresiva; los compartimentos restantes (verdes) representan tejidos “inactivos” (como tejido adiposo), donde no ocurren lesiones descompresivas. En su lugar, su papel en este modelo es el de servir como receptáculos o reservas para los excesos de gas. Inicialmente, durante la descompresión, estos tejidos actúan como un tanque de desbordamiento, aumentando la cantidad de gas que puede ser absorbido sin causar daños. Sin embargo, como la inmersión continúa y se absorbe más y más gas, llega un momento en el que se recupera. La inmersión termina y hay que comenzar a ascender. El gas “desbordado” no ha desaparecido.

Cuando se compensa, el compartimento en el que recae el riesgo tiene que eliminar no sólo el gas que ya tiene, sino también el gas “que se recupera” y que ahora viene de los otros compartimentos, (Esto, por cierto, aumenta la importancia de los ascensos lentos y las paradas de seguridad).

Obviamente, en inmersiones de poco riesgo se absorbe relativamente muy poco gas durante la compensación, resultando en bajas concentraciones de gas tanto en el compartimento en el que recae el riesgo como en los otros compartimentos. Con una baja concentración de gas en las reservas, la recuperación durante la compensación es muy baja, y dado que el compartimento en el que recae el riesgo está liberando su propia baja concentración de gas al mismo tiempo, el riesgo de enfermedad de descompresión es menor que de la otra forma. Todo esto tiene mucho sentido si pensamos en cómo funciona el cuerpo en conjunto. Sin embargo, la intuición es útil de manera limitada. La verdadera prueba yace en cómo de bien funciona el modelo. Se está haciendo evidente que este modelo es mucho más superior que los modelos ya existentes de predicción de la probabilidad de la enfermedad de descompresión.

¿Qué quiero decir exactamente con esto? Obviamente, los modelos no son adivinos. Aquí es donde entra en juego la comparación. En la práctica, los modelos están representados por conjuntos de ecuaciones. Básicamente, una ecuación es simplemente una secuencia de operaciones matemáticas realizadas usando números de dos maneras posibles: como variables o como constantes. En modelos de buceo, las variables representarían generalmente cosas como el tiempo, la profundidad, si la inmersión o no resultó en una enfermedad descompresiva, es decir, cosas que varían con los datos. Las constantes son números que forman parte de la propia ecuación, números que permanecen constantes sea cual sean los datos que introduzcamos. Antes de que se pueda utilizar un modelo (que comienza esencialmente como un marco teórico) hay que ajustarla para que encaje con un ejemplo de datos reales del tipo que se quiera predecir. Esto es lo que se llama “calibración”. Durante el proceso de calibrar un modelo con un conjunto de información de muestra, las cosas se vuelven un poco complicadas: las variables en realidad permanecen constantes (porque los datos de muestra no varían) mientras que las constantes varían (porque se están probando diferentes valores de las constantes para ver cuál aproxima más las predicciones a los datos de muestra). Cuando se han determinado los mejores valores para las constantes, se puede hacer del modelo un algoritmo que funcione.

Una medida para predecir su capacidad (la más elemental) sería la de ver cómo encaja el modelo con los datos que se utilizaron para calibrarlo, aunque, en cierto modo, es la medida menos importante. Es algo parecido a predecir el pasado. Ya sabes lo que ha pasado, y construyes tu modelo de manera que encaje con lo que ha pasado. De todas formas, tiene cierto valor (si no te sale bien esta medida, tu modelo está mal), pero no deja de ser un punto de partida. El siguiente paso es el de ver cómo funciona el modelo con un conjunto de datos distintos pero que aún así sea parecido al conjunto de datos utilizado para la calibración. Ya no estás prediciendo el pasado. Si pasas esta prueba tu teoría tiene coherencia, aunque dentro de un rango limitado. La mayoría de los modelos que satisfagan la primera medida satisfarán esta también.

Pero para una medida de la fuerza real de un modelo, se necesita ver cómo funciona prediciendo los riesgos para un conjunto de perfiles que estén completamente fuera del rango de peligros representado por los perfiles de calibración.

¿Funcionan bien los modelos calibrados utilizando datos de buceo de riesgo moderado cuando se aplican a un conjunto de inmersiones completamente diferentes donde el riesgo de enfermedad de descompresión es considerablemente mayor? Tomemos un caso extremo. Investigadores de la Marina de los Estados Unidos estudiaron las tasas de enfermedad de descompresión en inmersiones a saturación en la gama real

de “nunca intentes probar esto en casa”. Hicieron esto para intentar determinar los riesgos implicados en los ascensos directos de un submarino inutilizado. Debido al alto índice de riesgo esperado, utilizaron en su mayoría ratas y cerdos, aunque pudieron calcular cómo se aplicarían los resultados de los animales a los de los humanos. Los puntos mostraron el riesgo esperado de enfermedad de descompresión para cada uno de los tres perfiles: todos eran ascensos directos de saturación en aire a 33, 40 o 50 pies de agua marina (unos 10, 13 y 15 metros de agua marina respectivamente). Veamos cómo funcionan los diferentes modelos, cada uno calibrado con datos de buceo de bajo riesgo, prediciendo los resultados que se obtuvieron realmente.

La gráfica muestra ciertas diferencias bastante sorprendentes. Los modelos que comparamos fueron: un modelo típico de Haldane, el LE1, Saul’s ICEM, y Saul’s ICBM (una versión de burbujas del Saul’s ICM). El LE1 pretende añadir el efecto de burbujas a lo que es el modelo de Haldane. Si observamos la gráfica, vemos que el Saul’s ICM e ICBM están en línea con los resultados reales (que aumentan rápidamente con la profundidad de saturación), mientras que el modelo basado en burbujas y el modelo Haldane no basado en burbujas mantienen apróximadamente trayectorias en línea recta que subestiman seriamente los riesgos a grandes profundidades. Si se añaden burbujas a los modelos de compartimentos interconectados e independientes se produce un cambio relativamente menor en las predicciones, mientras que el efecto de cambiar de una estructura compartimental independiente a interconectada es enorme.

¿Qué hay de comparar los modelos en la dirección opuesta con muy poco riesgo, más típica del buceo recreativo? Cuando examinamos los índices de incidencia de unos 10.000 perfiles de inmersión en aire (de la base de datos del proyecto de DAN “Project Dive Exploration [PDE]”), los modelos interconectados se acercan más a las predicciones del número real de incidencias que ocurrieron. Estas inmersiones resultaron en sólo 10 casos de enfermedad de descompresión. Si hacemos unas estadísticas básicas sobre esto, un modelo que prediga unos resultados entre los 5 y los 18 hits iría de acuerdo con lo provisto. El modelo LE1 predeciría 51 hits, un modelo normal Haldane predeciría 126 hits, el ICM predeciría 10 hits y el ICBM predeciría 11 hits. De nuevo, los modelos interconectados resultaron mejor que los otros, por lo que son más correctos tanto con riesgos elevados como con inmersiones de bajo riesgo. Si observas los resultados de bajo riesgo, puede que tiendas a bostezar y a pensar “a mi qué me importa”. Los modelos existentes predicen de más el número de hits, y qué. ¿Eso no quiere decir que son más conservadores que los modelos interconectados? ¿Y no es eso algo bueno cuando hablamos de seguridad? Las respuestas son, respectivamente: “No” y “Depende”.

¿Te acuerdas de las comparaciones de alto riesgo que observamos antes? Los modelos existentes subestimaron enormemente ahí el riesgo. Eso quiere decir que no son seguros para este tipo de perfiles de alto riesgo. Eso en sí no es muy importante, ya que no bucearías esos perfiles de todos modos. Lo más problemático es que sus predicciones no siguieron el modelo adecuado. Esto significa que hay muchas posibilidades de que sus predicciones también subestimen seriamente el riesgo en menos perfiles con riesgo moderadamente alto que puede que considerases bucear. ¿Un modelo más conservador (que, como hemos visto, no describe los modelos actuales necesariamente) es algo bueno? Probablemente, siempre y cuando sea uno preciso. El nivel relativo de riesgo que un buzo está dispuesto a aceptar es una decisión personal. Sin embargo, sin la precisa información, uno no está en la posición adecuada para evaluar el nivel de riesgo real. Aunque prefieras la opción más segura o estés dispuesto a tolerar riesgos un poco mayores, la clave de conseguir lo que quieres está en la precisión. Los modelos de Saul pueden, como hemos visto, proporcionar una precisión mucho mayor. (Obviamente, este artículo sólo proporciona una visión general de los modelos y de la investigación tras ellos. Para una información más completa, y para la descarga de artículos periodísticos recientemente publicados, consulta la página web del autor.)

Espero que los modelos de Saul aparezcan en los ordenadores de buceo en un futuro relativamente

próximo y que finalmente se conviertan en el nuevo estándar para el submarinismo. Mientras tanto, lo mejor que puedes hacer es continuar buceando de acuerdo con tu ordenador de buceo, pero ten en cuenta sus limitaciones. Si ves que contradice algo de lo que recuerdas de las tablas de buceo o de las clases, opta por la opción más segura. Sobre todo, nunca descuides tus paradas de seguridad.

### **Figura 1**

