



Cartógrafo.CL/03-2022



(\*) Master en Educación

Cuba



## Del escandallo al satélite:

Una historia mal contada sobre la Hidrografía

Alejandro Geronés (\*)

### RESUMEN

Este artículo trata de cubrir en unas pocas páginas, sucesos y descubrimientos científicos que han contribuido al desarrollo de la hidrografía como actividad esencial para la navegación en nuestros mares hoy.

También se hace un análisis resumido de la ciencia y la tecnología utilizada en los levantamientos hidrográficos, su evolución y aplicaciones en otras áreas económicas, más allá de la navegación.



alejandro.gerones@iictechnologies.com

## INTRODUCCIÓN

Para aquellos que hemos crecido junto al mar, ver buques y embarcaciones de todo tipo se convierte en algo tan cotidiano que con frecuencia ni nos damos cuenta de que están ahí. Lo que una gran parte de las personas que habitan ciudades portuarias ignora es que para que esos buques lleguen a su destino, debe entrelazarse todo un universo de ciencia moderna y conocimientos tan antiguos como el propio ser humano. Un gran porcentaje del comercio de cualquier nación se realiza a través del mar y para que esto ocurra, hay un ejército de especialistas asegurando que la travesía de esos buques sea más segura a través del uso de datos exactos de navegación.

En este artículo estaremos cubriendo algunos de estos temas.

## UN POCO DE HISTORIA

La historia de la navegación está estrechamente ligada a la propia historia del mundo. Lo océanos siempre han cautivado a los seres humanos, no solo por el interés que despertaba saber qué había más allá del horizonte visible, sino también qué había debajo de aquellas oscuridades tenebrosas del Mare Magnun. Basta observar las ilustraciones del cartógrafo sueco Olaus Magnus, creadas en el siglo XVI, para entender el tipo de fascinación que siempre hemos tenido por el océano.

Las primeras cartas de navegación, que hoy consideramos verdaderas obras de arte, cumplían una función muy básica que hasta hoy persiste: mostrar al marino la vía para llegar de un punto al otro sin naufragar. Los datos contenidos en estas cartas se compilaban fundamentalmente sobre la base de observaciones visuales y mediciones astrales muy imprecisas. Los marinos experimentados que transitaban las mismas rutas con frecuencia eran capaces de navegar solo siguiendo los astros y memorizando zonas peligrosas de rocas cercanas a la costa. Es difícil determinar cuán frecuentes eran los naufragios, pero considerando las prácticas de navegación y la poca data con que se navegaba, podemos asumir que los accidentes marítimos eran muy comunes muy comunes en el mundo antiguo. Estos accidentes, al igual que los de hoy, provocaban la pérdida de vidas y riquezas.

Sin duda fue una roca o un arrecife poco profundos, la causa principal de que los marinos comenzaran a medir las profundidades en la ruta, de conjunto con la observación de peligros emergentes debido a los cambios en los niveles del mar. Cuando las condiciones de iluminación y meteorológicas lo permitían, los estimados de profundidad se hacían a ojo en aguas poco profundas. Para los casos en que era imposible determinar dónde estaba el fondo, los marinos diseñaron una herramienta que por su simpleza ha permanecido en uso y con muy pocos cambios en su diseño durante miles de años: ¡Que entre la sondaleza!

Figura 1. Serpiente marina devora un buque frente a las costas de Noruega. Detalle de la carta marina de Olaus Magnus, 1539.







También conocida como plomada, escandallo y otras denominaciones en dependencia de la región geográfica, la sondaleza no es más que una cuerda o cabo utilizado para medir profundidades. La herramienta está compuesta por un peso, atado a una cuerda con marcas a tramos medidos. En algunas instancias, el peso era cóncavo o con una cavidad en el centro. Esto posibilitaba «armar la plomada» con alguna sustancia pegajosa como alquitrán o grasa animal que permitía obtener muestras del fondo para determinar sus características y el tipo de riesgos que representaba.

Es difícil determinar quién o cuándo se inventó este instrumento, lo cual es evidencia no solo de su sencillez si no también de su antigüedad. Las primeras documentaciones sobre la sondaleza datan del siglo V a. de C. y su uso persiste incluso hasta los días de hoy. Con toda probabilidad, las mediciones efectuadas se hacían con el objetivo de evitar encallamientos y naufragios, más que con un propósito cartográfico.

En la medida en que la humanidad se fue desarrollando, el uso de la sondaleza se expandió al objetivo de cartografiar las costas y mares. Como podremos imaginar, para compilar datos de profundidad, los marinos y científicos debían efectuar miles de mediciones desde sus embarcaciones y hacer todas las anotaciones a mano, en una bitácora. Lo impreciso del método no le resta valor y constituyó un gran paso de avance cuando se compara con la navegación «a ciegas» de los antiguos marinos.

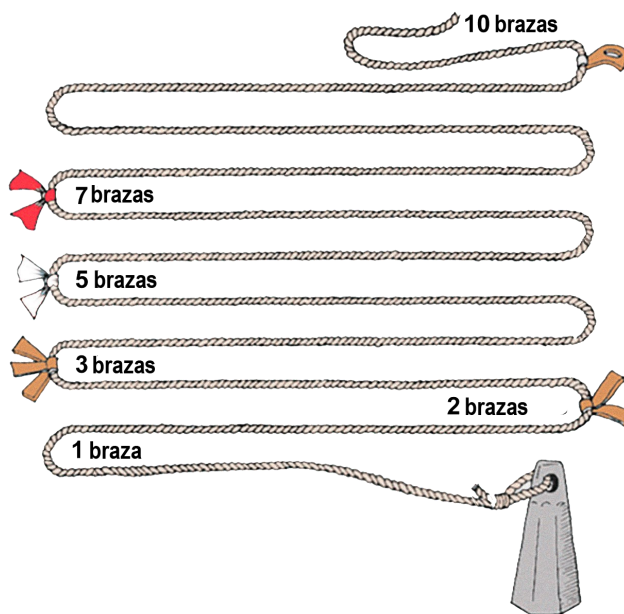


Figura 2. Sondaleza con marcas en brazas.



Figura 3. Sondando en las vastas profundidades de las costas noruegas. Detalle de la ilustración de Olaus Magnus.

Desde finales del siglo XVIII, varias instituciones europeas, aunque, fundamentalmente, la Real Armada de Gran Bretaña, intentaron desarrollar alternativas al uso de la sondaleza que aceleraran más la tarea de medir las profundidades, pero sobre todo que la hicieran más precisa.



Unos de los dispositivos más adoptados en las flotas europeas de la época fue la máquina de sondajes desarrollada en 1802 por Edward Massey, un relojero inglés oriundo de Staffordshire. Este instrumento utilizaba la cuerda y la plomada a través de un rotor mecánico que hacía girar unos diales con marcas de profundidad. Cuando la plomada tocaba fondo, el dispositivo fijaba la aguja indicando la profundidad medida.

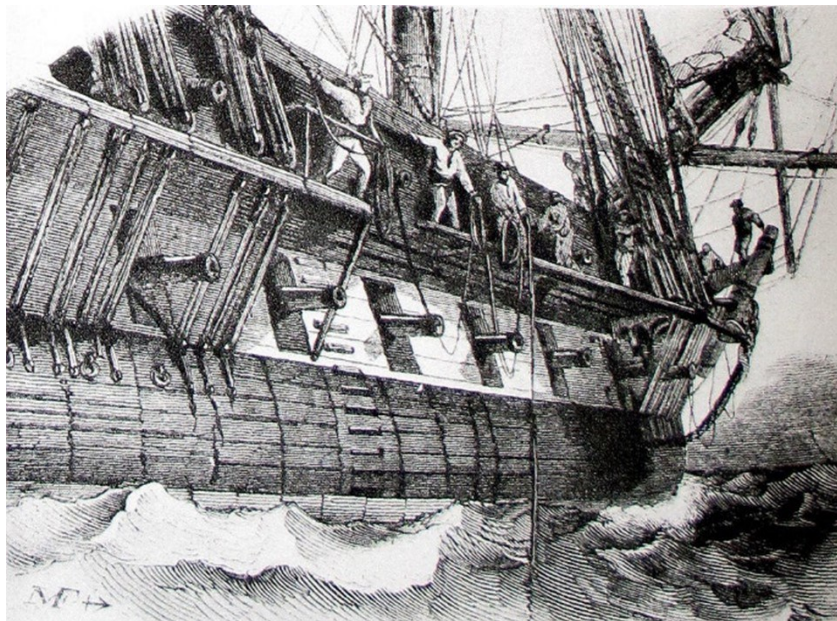


Figura 4. Marineros sondando en un buque de guerra.

Otra variante, diferente del artefacto de Masey, creada por Peter Burt, otro inventor británico, fue denominada «máquina de sondajes con boya y rodillo». Este aparato también se basaba en el uso de la cuerda y la plomada para hacer las lecturas de profundidad. Con el uso de la boya, el artefacto podía ser arrastrado detrás del buque a la vez que se garantizaba el descenso perpendicular del escandallo.



Figura 6. Kelvite Mark IV en el Museo Real de Greenwich.

Ambos inventos tenían grandes limitaciones en cuanto a su versatilidad y uso práctico. Solo podían efectuar mediciones en zonas de poca profundidad que no iban más allá de las 150 brazas (unos 280 m). Esto era aceptable para los propósitos de navegación, pero imposibilitaba explorar el lecho marino en zonas de mayor profundidad.

En 1876, otro británico de nombre William Thompson, pero más conocido como lord Kelvin, patentó una variante más refinada de la sondaleza mecánica que se denominó Kelvite Mark IV. Inicialmente, se operaba de manera manual, pero con la invención de los motores de vapor se le integró, a inicios del siglo XX una pequeña máquina que hacía la tarea de sondear los mares un poco más eficiente.

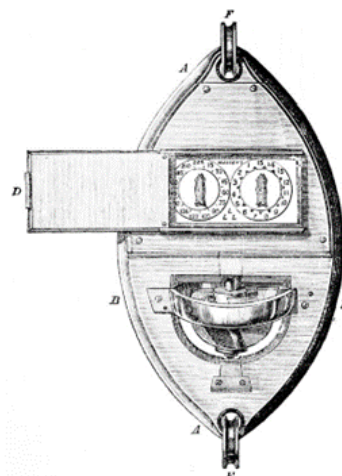


Figura 5. Diagrama de la máquina de sondajes de Edward Masey.





## PERO ¿DÓNDE ESTAMOS?

El 22 de octubre de 1707, el almirante británico Sir Cloudisley Shovell regresaba a Inglaterra con una pequeña flota de cinco buques luego de haber estado hostigando a los franceses en el Mediterráneo, cerca de Gibraltar. En un punto de la travesía de retorno a Inglaterra, el consenso de los capitanes afirmaba que se encontraban a distancia segura, al oeste de Île d'Ouessant ( $48.4614^{\circ}$  N,  $5.0914^{\circ}$  W), a varias millas de la costa atlántica de Francia. Sin embargo, al continuar su travesía hacia el norte comprobaron con horror que habían errado los cálculos y en realidad habían ido a dar con los promontorios de Isle of Scilly ( $49.9233^{\circ}$  N,  $6.2966^{\circ}$  W), un conjunto de pequeñas islas al suroeste de Inglaterra. Una pesada niebla les impidió percatarse del problema hasta el último minuto. El buque insignia, Association, se estrelló contra las rocas y se hundió en minutos con toda su tripulación. De los cinco buques que formaban la flotilla, cuatro se hundieron y solo dos tripulantes lograron salvarse, Sir Cloudisley uno de ellos.

¿Era Sir Cloudisley Shovell un mal navegante? Para nada. Casi cincuenta años de experiencia indicaban todo lo contrario: ¿Entonces qué había pasado para que un marino de tanta experiencia cometiera un error tan simple?

El problema estuvo en este caso, como en muchos otros por más de setecientos años, en la imposibilidad de los navegantes de entonces de poder calcular la longitud en alta mar.

Hablemos pues, de un poco de geografía. Hasta un niño de primaria sabe hoy que para determinar un punto exacto en nuestro planeta se necesitan dos coordenadas: latitud y longitud. Las líneas de latitud, o paralelos, van horizontalmente desde el ecuador hasta los polos en círculos concéntricos que se estrechan en la medida en que se acercan al Ártico y a la Antártica; mientras que la longitud, o meridianos, se extienden verticalmente de polo a polo. Cualquier marino de experiencia es capaz de determinar, con buen grado de exactitud, su latitud, midiendo la duración del día, la altura del sol o la posición de las estrellas sobre el horizonte. Esto fue lo que hizo Cristóbal Colón en 1492: navegó siguiendo el paralelo, y habría llegado a la India sin duda, de no haber estado el continente americano ubicado en el trayecto.

Calcular la longitud, sin embargo, requiere de conocer la hora en el barco y también la hora en el lugar de origen u otro punto cuya longitud sea conocida, en ese preciso momento. Conocer ambas horas le permite al navegante convertir la diferencia de horarios en una separación geográfica. Puesto que el planeta tarda 24 horas en completar una vuelta de  $360^{\circ}$  sobre su eje, una hora equivale a un veinticuatroavo de vuelta, o  $15^{\circ}$  de la esfera. Por tanto, cada hora de diferencia entre la embarcación y el punto de origen, marca un progreso de  $15^{\circ}$  de longitud hacia el este o el oeste.

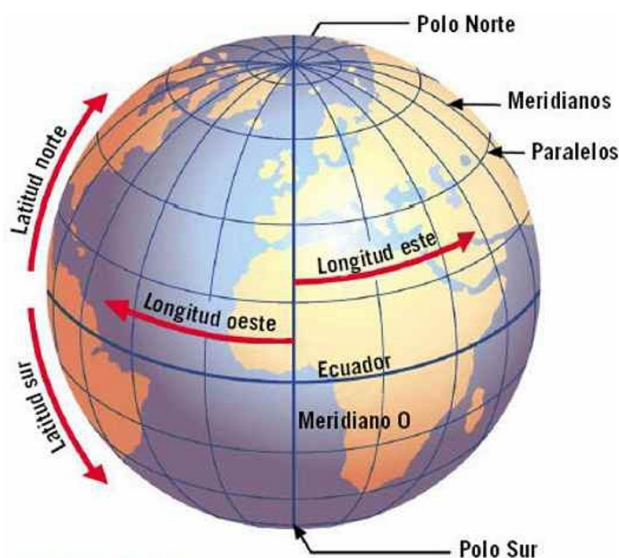


Figura 7. Sistema de coordenadas geográficas de la Tierra.



Esto puede hacerse hoy con un par de relojes baratos sincronizados al punto de origen, pero hasta 1737, los relojes eran de péndulo y de tamaño considerable, nada prácticos para travesías en alta mar. El constante balanceo del buque, la acción del salitre, la humedad y los cambios de temperatura terminaban dañando el artefacto, haciendo imposible mantener la hora exacta en la travesía y, por lo tanto, calcular la diferencia de horario con el puerto de zarpe.

La historia de John Harrison —el inglés que resolvió el dilema de la longitud— ha sido objeto de libros y artículos científicos en los últimos doscientos años. Sus relojes para medir la hora en alta mar aún se conservan en el Real Museo de Greenwich y reciben la visita de miles de turistas cada año, todavía encantados por la magia de estos inventos y lo que han significado para el desarrollo de la humanidad.

## SONDAJES Y COORDENADAS

En cartografía náutica, los objetos son clasificados en cuatro grupos: polígonos, líneas, puntos y sondeos.

—Pero, espera... ¿un sondeo no es acaso también un punto?

Lo es, pero es uno especial y por eso es una categoría de objeto en sí. Mientras que el resto de los puntos en una carta náutica, digamos una boya o un faro, son representados en una coordenada (Lat./Long. o X/Y), los sondeos conllevan en sí el parámetro que los diferencia del resto de los objetos de puntos: la profundidad (Lat./Long./Prof. o X/Y/Z).

Con la solución del enigma de la longitud, se hizo posible calcular la posición en alta mar con mejor precisión. La navegación no solo se tornó mucho más segura y eficiente, sino que también ahora era posible representar puntos en las cartas de navegación con relativa exactitud.

Durante los siguientes casi doscientos años, se continuó sondeando con el escandallo y representando las mediciones en su posición geográfica. Las campañas hidrográficas eran extensas, tediosas y aún inexactas. Las lecturas de profundidad eran registradas a mano, con latitud, longitud y profundidad, punto por punto, en lo que algunos denominan Hojas de Bote (filesheets o hydrographic sheets en inglés). Al decir de un colega, la hidrografía de entonces se hacía con mucha calma.

## LLEGA EL SONIDO

Hoy es conocido que el sonido viaja a 340 m/s en una masa de aire a una temperatura de 20 °C. Pocos imaginan todo lo que tuvo que ocurrir para que llegáramos a esta aseveración.

Antes del descubrimiento de que el sonido viaja en forma de ondas, durante siglos muchos se preguntaron cómo era que podíamos escuchar lo que escuchamos. Esto, al igual que con el dilema de la longitud en alta mar, cambió cuando algunos de los científicos más notables de todos los tiempos lograron determinar cómo ocurre este fenómeno.



Figura 8. H-1, el primer reloj de John Harrison, de 1737 y H-5, el último, de 1770.

Date	Station	Locality	Fath.	Appearance	Remarks
1885 VIII		Louisiana: Off Chandeleur Island.			
1st	29 26 45	88 33 48	6.0	bu. M.	
2.	29 26 45	88 33 48	11.0	bu. M. S. r. r. r. sp.	
3.	29 26 45	88 33 48	17.0	bu. M. S.	
4.	29 26 45	88 33 48	18.0	bu. M.	
15.6	29 26 45	88 33 48	7.4	bu. M. S. r. r. r. sp.	
6.	29 26 45	88 33 48	2.5	bu. M. S.	
7.	29 26 45	88 33 48	9.0	bu. M. S. r. r. r. sp.	
8.	29 26 45	88 33 48	12.4	bu. M. S. r. r. r. sp.	
9.	29 26 45	88 33 48	8.4	bu. M.	
10.0	29 26 45	88 33 48	10.3	bu. M.	
11.	29 26 45	88 33 48	15.2	bu. M.	
12.	29 26 45	88 33 48	10.2	bu. M.	
13.	29 26 45	88 33 48	14.2	bu. M.	
14.	29 26 45	88 33 48	17.0	bu. M.	
15.	29 26 45	88 33 48	16.0	bu. M.	
16.	29 26 45	88 33 48	10.0	bu. M. S. r. r. r. sp.	
25.7	29 26 45	88 33 48	7.5	bu. M. S.	
18.	29 26 45	88 33 48	7.0	bu. M. S.	
19.	29 26 45	88 33 48	8.0	bu. M.	
20.	29 26 45	88 33 48	5.2	bu. M.	
21.	29 26 45	88 33 48	6.2	bu. M.	
22.	29 26 45	88 33 48	13.2	bu. M.	
23.	29 26 45	88 33 48	7.2	bu. M. S. r. r. r. sp.	
24.24	29 26 45	88 33 48	7.3	bu. M. S. r. r. r. sp.	
25.	29 26 45	88 33 48	19.0	bu. M.	
26.	29 26 45	88 33 48	33.1	bu. M.	
27.	29 26 45	88 33 48	7.4	bu. M.	

7 fath. - 100 fath. (93) bottom in line.

Continued.

Figura 9. Hoja de levantamiento hidrográfico en la costa de Louisiana, Estados Unidos, de 1885



Uno de los primeros en estudiar el sonido fue el griego Aristóteles. Pero hubo que esperar casi mil años para que un señor llamado Galileo Galilei, fuera el primero en registrar la relación entre la frecuencia y tono de las ondas sonoras al estudiar el sonido de las notas musicales.

El siguiente salto en el estudio del sonido se lo debemos al matemático francés Marin Mersenne, que logró medir por primera vez la velocidad del sonido en el aire allá por 1640. Investigaciones posteriores determinaron que las mediciones de Mersenne tenían un error del 10 %, lo cual no deja de ser impresionante si tomamos en cuenta el desarrollo científico de la época.

Veinte años más tarde, el británico Robert Boyle descubrió que para que el sonido se propague, debe hacerlo a través de un medio que permita la traslación de las ondas. Sus experimentos se centraron en la transmisión del sonido a través del aire, pero esta fue la puerta de entrada para que otros investigaran también otros medios de propagación.

Entre 1700 y 1800, muchos otros continuaron con los estudios del sonido, pero habría que destacar a otro francés, Joseph Fourier, que descubrió que las ondas sonoras producidas por una cuerda vibrante, viajan de manera regular o periódica.

Sin embargo, quizás el descubrimiento más trascendental en el estudio del sonido, lo realizó el físico austríaco Christian Doppler a mediados del siglo XIX.

Doppler se lleva el crédito por diseñar la fórmula matemática para calcular la frecuencia de la onda cuando esta se desplaza con relación a un observador. El austríaco estableció, a través de su ecuación, que en la medida en que la fuente de la onda (emisor de sonido) se aleja del observador, la frecuencia de onda se reduce y el sonido se escucha con menor intensidad. Lo contrario ocurre cuando la fuente emisora se acerca al observador. Es lo que se conoce como «Efecto Doppler»



—¿Se acuerdan de aquel episodio de «Big Bang Theory» en el que Sheldon Cooper se disfraza con un traje de rayas blancas y negras? —Estaba recreando exactamente este fenómeno.

Doppler también logró establecer que la velocidad de la onda está directamente influenciada por el medio en que se propaga, lo cual tendría luego una significación inmensa para la hidrografía.



Figura 10. Christian Doppler (1803-1853).

$$f = \left( \frac{c + v_r}{c + v_s} \right) f_0$$

Figura 11. Fórmula de la frecuencia del sonido (efecto Doppler).

## Escuchando las profundidades

El desarrollo de la investigación científica continúa su decursar hasta los días de hoy. A la entrada del siglo XX, los avances científicos y tecnológicos se produjeron de manera mucho más acelerada y constante que en los siglos anteriores. Hasta





este momento hemos revisado las circunstancias históricas que desembocaron en la hidrografía como una ciencia crucial para el funcionamiento de nuestra vida en el planeta: la necesidad de conocer y mapificar las profundidades de los océanos; la necesidad de conocer con certeza la posición geográfica en el mar; y el conocimiento de las características del sonido y su propagación.

En la madrugada del 15 de abril de 1912, el buque más grande construido hasta ese momento en el mundo, se fue a pique luego de cuatro días de navegación, desde la costa de Inglaterra rumbo a Nueva York. El Titanic, como es sabido, rozó contra un iceberg y se hundió rápidamente, llevándose consigo más de mil quinientas almas al fondo del océano. Este desastre, probablemente el peor accidente marítimo de la historia de la humanidad, empujó la adopción de una serie de medidas, hoy consideradas como norma por la Organización Marítima Internacional, para garantizar una mayor seguridad en las travesías y evitar otros desastres.

Una de las medidas, sugeridas por el meteorólogo británico Lewis Fry Richardson, consistió en el uso de equipos emisores de sonido (eco) para la detección de masas de hielo flotantes en la travesía marítima. Esta es quizás la primera vez en que se sugiere el uso de ondas sonoras para «ver» algo que resulta invisible al ojo humano.

En 1913, el físico alemán Alexander Behm —que llevaba casi veinte años investigando la propagación del sonido— fue el primero en patentar una ecosonda. Su equipo fue descrito en los documentos de la patente alemana N° 282009, como un «dispositivo para medir las profundidades del mar y la distancia y dirección de buques y obstáculos a través de la reflexión de ondas sonoras». Curiosamente, al otro lado del Atlántico, el canadiense-estadounidense Reginald Fessenden hacía lo mismo que Behm.

Durante las siguientes dos décadas, el mundo se vería envuelto en la Primera y Segunda Guerra Mundial y una buena parte de las investigaciones científicas de cada parte se enfocaron en dotar a los ejércitos con tecnología que diera ventajas en el campo de batalla. Los alemanes refinaron sus submarinos y en consecuencia, el uso de la ecosonda se convirtió en algo común en los buques británicos para su detección.

No fue hasta terminar la Segunda Guerra Mundial con la fundación de la Organización de las Naciones Unidas en la década de 1950 y la adopción de la Convención de las Naciones Unidas para la Ley del Mar (UNCLOS, por sus siglas en inglés), que las naciones comenzaron a unir sus esfuerzos en el desarrollo y uso de la tecnología para mapear los océanos y establecer rutas globales seguras.

## La tecnología monohaz

La ecosonda monohaz ha marcado un hito en la hidrografía moderna. Este dispositivo emite un haz de sonido apuntado hacia el lecho marino desde un transductor, que a su vez captura el haz sonoro cuando rebota contra el fondo.

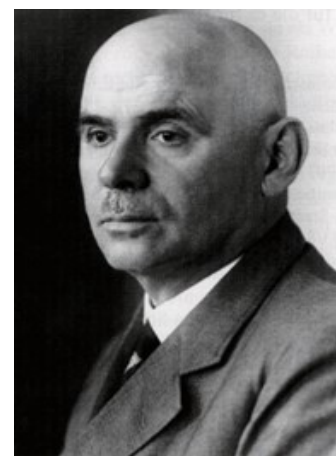


Figura 12. Alexander Behm (1880-1952)



Figura 13. Reginald Fessenden (1866-1932)





Lo trascendental aquí es que el aparato incorpora dos aspectos importantes que lo distinguen del resto de los instrumentos de sondaje anteriores: cada haz de sonido recibe una marca de tiempo al salir del transductor y otra marca de tiempo al retornar al transductor. Dado que es posible calcular la velocidad del sonido en cualquier medio, al combinar este parámetro con el tiempo de retorno del haz, se puede determinar la distancia que este ha recorrido. Por si no lo han adivinado aún, en este caso la distancia equivale a la profundidad.

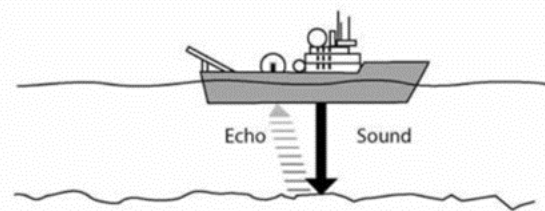


Figura 14. Principio general de funcionamiento de una ecosonda.

Desde el punto de vista técnico, es también necesario establecer la correlación entre la frecuencia sonora del ping del transductor y las profundidades que este puede alcanzar. Típicamente, las ecosondas que operan con baja frecuencia (entre 12 y 200 mHz) se utilizan para medir zonas de profundidades hasta los mil metros aproximadamente; mientras que los dispositivos de alta frecuencia (entre 200 y 400 mHz) son más apropiados para sondear áreas menos profundas. De esto podemos deducir que la frecuencia del equipo es inversamente proporcional a la profundidad que puede medirse con el mismo.

En adición a todo lo anterior, otro gran avance científico ha venido a solidificar aún más las operaciones hidrográficas. La implementación de un sistema de satélites de posicionamiento alrededor de nuestro planeta, nos permite ahora efectuar geolocalización de puntos con exactitud increíble. Todos utilizamos el GNSS todos los días, cuando queremos encontrar una dirección en nuestro automóvil, cuando deseamos saber dónde está nuestro Uber o cuando buscamos un punto en la geografía de Google Earth. El GNSS (Global Navigation Satellite System) es un término genérico para referirse a un grupo de sistemas satelitales que proporcionan servicios de posicionamiento, hora y navegación a nuestro planeta (Positioning, Timing and Navigation o PTN). Aunque la red GPS (Global Positioning System) es el sistema más popular y utilizado, existen otros como el BeiDou Navigation Satellite System (BDS), chino; Galileo de la Unión Europea; el GLONASS (Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema) de la Federación Rusa; y el Quasi-Zenith Satellite System (QZSS), operado por Japón, por solo mencionar algunos. Lo cierto es que en el mundo moderno, la vida sería muy complicada sin el acceso a estos servicios.



Figura 15. Ecosonda monohaz Odom Mk3.

En la hidrografía de hoy, resulta igualmente impensable efectuar un levantamiento sin el acceso a un sistema de posicionamiento global, y hemos avanzado tanto que las ecosondas vienen equipadas con herramientas de software que no solo calculan la profundidad con precisión sorprendente sino que también asignan a cada ping (haz de sonido) su posición geográfica correspondiente.

Pero volvamos a nuestro nuevo juguete, la ecosonda monohaz, que ha estado en uso solo en los últimos 70 años. Esta es aún muy joven si se le compara con su abuelo milenario, pero aún activo, el escandallo. La tecnología monohaz, a pesar de incorporar lo más avanzado en técnicas de sonido y geolocalización, por su propia naturaleza y la velocidad con que se mueve la ciencia hoy, va limitando su uso a aplicaciones muy puntuales de desarrollo costero y mapeo de áreas menores en aguas interiores.



Figura 16. Sistema Global de Navegación Satelital (GNSS).

Por otra parte, y como su propio nombre lo indica, monohaz quiere decir: «un haz cada vez».

—¿Recuerdan lo tedioso de sondear con el escandallo y registrar manualmente posiciones punto por punto?

Con una ecosonda monohaz, el proceso es muy similar, solo que la captura de datos se realiza en forma de línea de puntos resultante de la sucesión de cada uno de los haces singulares emitidos por la ecosonda. Estas se denominan, efectivamente, líneas de levantamiento. Levantar unas pocas líneas en un área geográfica reducida no es complicado utilizando tecnología monohaz. Imaginen ahora levantar un área de miles de kilómetros cuadrados y la campaña se convierte en una tarea titánica, de hecho, hoy, prácticamente incosteable.

La Figura 17 ilustra las limitaciones del levantamiento con ecosonda monohaz en zonas geográficas extensas. Cada línea roja equivale a un pase de la embarcación con la ecosonda.

### La tecnología multihaz

La tecnología multihaz sigue los mismos principios de la tecnología monohaz, pero permite sondear con mucha mayor eficiencia. Mientras que el transductor monohaz emite un ping cada vez, una ecosonda multihaz es capaz de emitir más de mil pings simultáneamente. Esto incrementa el área de sondeo exponencialmente y en consecuencia reduce el tiempo de levantamiento en una zona determinada.

Los equipos multihaz permiten también sondear a profundidades de hasta los 11 mil metros con gran precisión y permiten ajustar el ángulo del transductor para modificar el ancho del abanico de pings. Esto es particularmente necesario cuando se levanta en áreas de altas profundidades, pues la



Figura 17. Datos de levantamiento monohaz sobre una carta electrónica.



altura del cono sonoro provoca la pérdida de los haces exteriores si no se reduce el ángulo de inclinación de los transductores.

La otra gran ventaja de la tecnología multihaz es no solo la alta calidad de las lecturas de profundidad que se obtienen, sino el incremento exponencial de su densidad. Esto da como resultado imágenes de alta precisión con un nivel impresionante de detalle gráfico. Mientras que con el monohaz, las lecturas resultantes son líneas de datos, con el multihaz las lecturas constituyen superficies batimétricas.

Figura 18. (Izquierda) Levantamiento con monohaz. (Derecha) Levantamiento con multihaz.

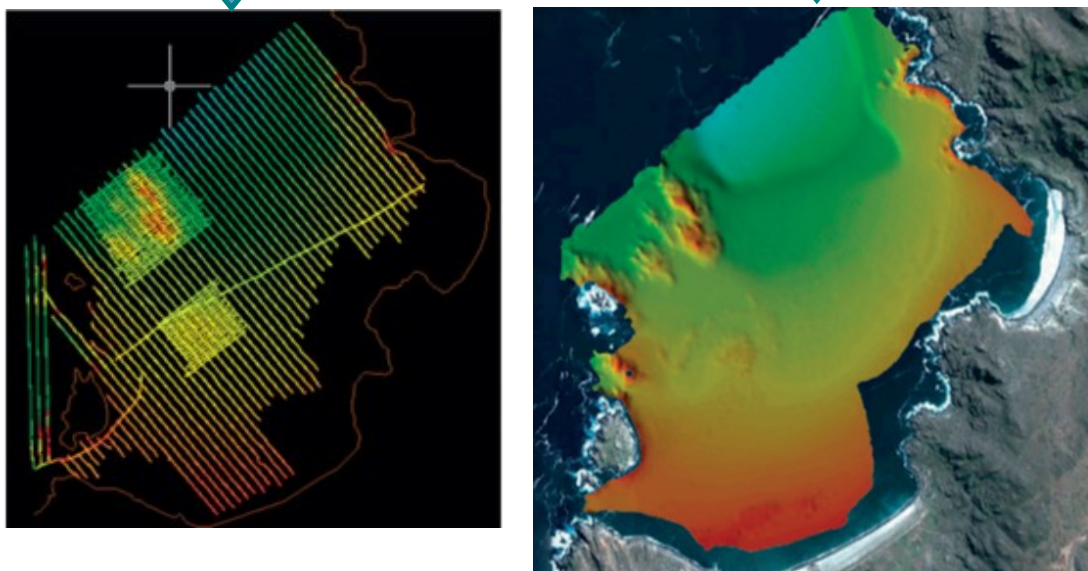
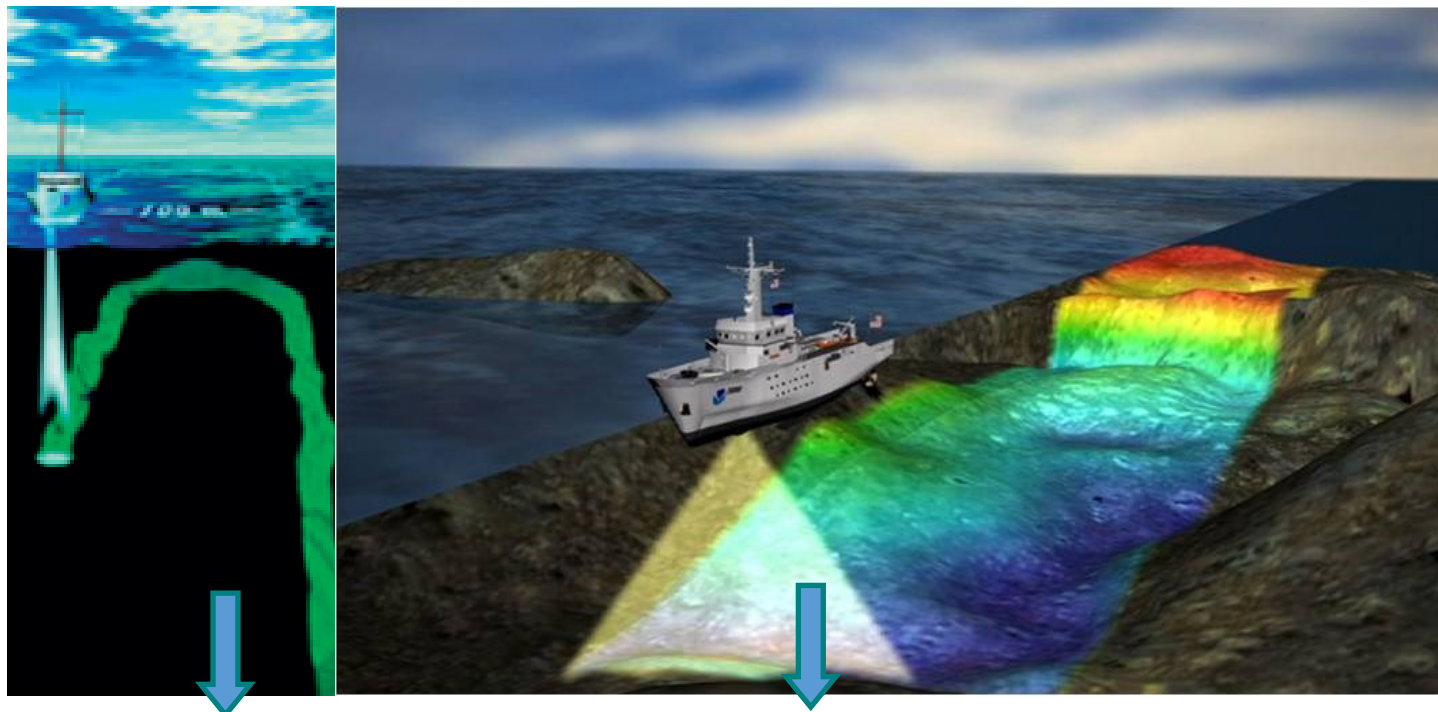


Figura 19. Izquierda. Levantamiento monohaz. Derecha: Superficie batimétrica con multihaz.

## La velocidad del sonido

Anteriormente habíamos hecho referencia a la importancia de la velocidad del sonido en el cálculo adecuado de las profundidades. Es necesario aquí, hacer un paréntesis para profundizar un poco más en este parámetro, tan esencial para la hidrografía.



La velocidad del sonido, como ya sabemos, no es más que la distancia que cubre una onda sonora a través de un medio en una unidad de tiempo. Ya sabemos que la onda sonora se desplaza a 340 m/s en una masa de aire a 20 °C ¿Pero qué ocurre en el agua?

La velocidad del sonido se ve afectada en el océano por tres elementos: temperatura, salinidad y presión. La acción de estos tres parámetros puede hacer que la velocidad del sonido en el océano varíe entre los 1400 m/s y 1600 m/s.

La combinación de estos tres aspectos en su relación con la profundidad produce un perfil vertical de sonido con un mínimo de velocidad muy característico a profundidad media. La temperatura se reduce drásticamente en el primer kilómetro vertical del océano y es el aspecto que más afecta la velocidad del sonido; esta influencia se reduce en la medida en que aumenta la profundidad. En las zonas más profundas (más allá de los mil metros), el cambio de velocidad contra temperatura es mucho menor y entra a ejercer mayor influencia el incremento de la presión de la columna de agua. Estas mediciones de velocidad del sonido en la columna de agua son las que denominamos «perfil de la velocidad del sonido» (Sound Velocity Profile o SVP).

También debemos tomar en cuenta que este perfil sufre su mayor variación al transitar la onda por la zona conocida como termoclina.

La termoclina es una gran capa de agua que subyace bajo la superficie oceánica en un rango entre los 200 y 1000 metros de profundidad, separando la capa superficial de agua del cuerpo más oscuro y profundo del océano. Las características físicas de la termoclina dependen de la temporada meteorológica en la zona, y esta puede llegar a ser algo temporal o semipermanente en el cuerpo de agua, recibiendo también la influencia de la radiación térmica del agua de la superficie durante el día y la noche.

La influencia de estos factores naturales en la velocidad del sonido en el agua, implica que también pueden afectar la medición de la profundidad al ser esta dependiente de la velocidad del sonido. Otro factor importante a tomar en cuenta es que la temperatura, la salinidad y la presión pueden variar incluso dentro de un área reducida. Esto obliga a los hidrógrafos a calcular perfiles de la velocidad del sonido, incluso varias veces al día durante un levantamiento para asegurar que las lecturas con la ecosonda son correctas.

El método para establecer el perfil de la velocidad del sonido, pasa por ejecutar mediciones oceanográficas con sensores de conductividad

(salinidad), temperatura y densidad (presión), popularmente conocidos como CTD (Conductivity, Temperature and Density Sensor). Los sensores CTD vienen equipados con software que ejecutan rutinas algorítmicas con los datos que reciben y van elaborando el SVP en una columna de agua determinada.

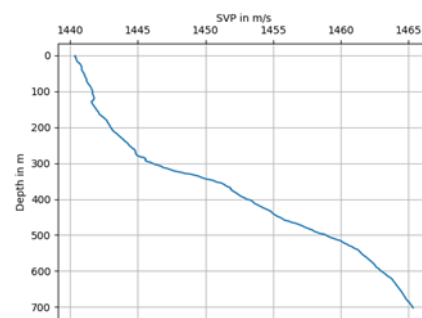


Figura 20. Perfil de la velocidad del sonido contra profundidad.

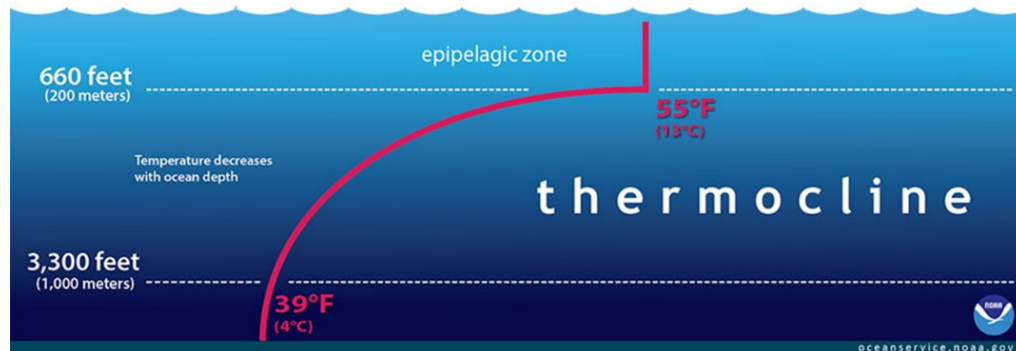


Figura 21. Variación de la velocidad del sonido al transitar por una termoclina.



## ¿EL SOFTWARE O EL HIDRÓGRAFO?

Cuando se trabaja en levantamientos hidrográficos, especialmente con tecnología multihaz, existe la ocurrencia de ruido o lecturas dudosas al retorno de la onda. Esto puede estar influenciado por una serie de factores como el montaje de la ecosonda, la vibración de la embarcación si la ecosonda está muy próxima a la máquina de la embarcación, el nivel de sedimento presente en la columna de agua, entre otros. No olviden la importancia de los perfiles de la velocidad del sonido también.

Lo cierto es que si no se calculan y corrigen estos factores a través de pruebas de calibración, antes de iniciar el levantamiento, y el constante monitoreo de la data durante el levantamiento, las lecturas pueden estar plagadas de errores que hacen que los datos sean inservibles. Los levantamientos pueden llegar a tener un costo de miles de dólares diarios por el tiempo de campaña, por lo que es de vital importancia que los datos obtenidos sean de calidad.

Esto implica, entonces, que los hidrógrafos deben estar equipados no solo con gran conocimiento, experiencia y buena tecnología, sino también con software de monitoreo y postprocesamiento, para garantizar resultados óptimos.

En el levantamiento monohaz, el procesamiento de los datos, por su reducido volumen, puede hacerse de forma más expedita. Sin embargo, procesar datos multihaz, donde se compilan millones de puntos en un tiempo reducido requiere, más que de tiempo, de poder de procesamiento a través de algoritmos estadísticos que hacen más eficiente la tarea del hidrógrafo. Esto a su vez, trae consigo un conflicto administrativo que muchas veces daña la eficiencia con que se efectúa el levantamiento: ¿Quién está en lo correcto ante una lectura dudosa, el software o el hidrógrafo?

Existen programas (software) de procesamiento muy conocidos como el HIPS/SIPS de Teledyne CARIS, las herramientas de Hypack o QPS que son capaces de postprocesar grandes volúmenes de datos y arrojar resultados muy exactos. Estas herramientas están diseñadas de conformidad con las normas hidrográficas internacionales establecidas por la Organización Hidrográfica Internacional. Pueden ejecutar rutinas estadísticas que permiten asignar a cada sondaje clasificaciones de «aceptado» o «rechazado» en dependencia de los parámetros preestablecidos y brindar resultados visuales tanto en 2D como en 3D.

A pesar de que nuestro cerebro no puede competir en velocidad y volumen de procesamiento con los algoritmos disponibles en el mercado, estos últimos carecen de algo: la capacidad de analizar la información más allá de parámetros matemáticos y tomar decisiones lógicas. Esto quiere decir que no debemos aceptar a ciegas los resultados del postprocesamiento con estas herramientas, pero tampoco desecharlas, si no utilizar la información resultante para tomar decisiones acertadas.



Figura 22. Sensor de CTD.

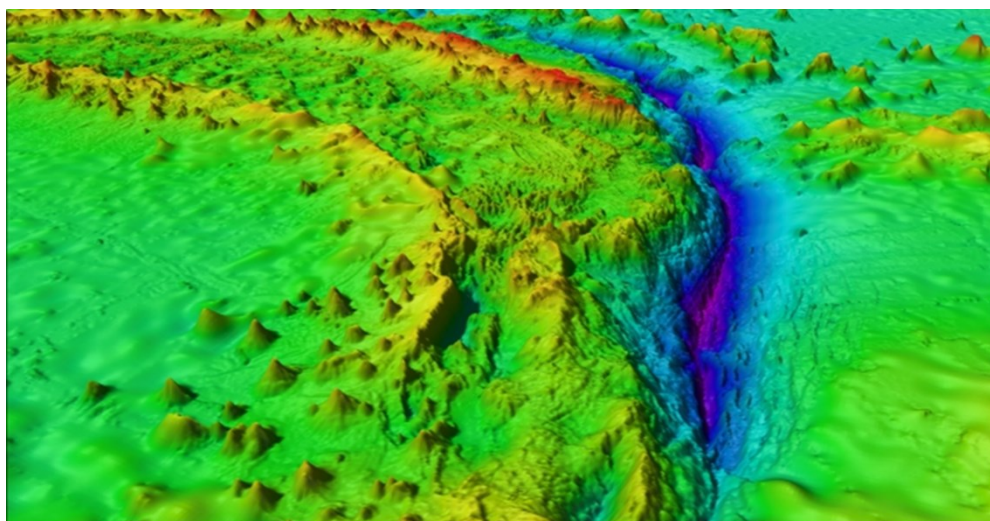


Figura 23. Superficie batimétrica de alta resolución.

### Aviones, robots y satélites

Como la ciencia y el progreso no se detienen, ahora podemos instalar sensores remotos en diferentes tipos de vehículos para calcular las profundidades del mar.

La tecnología LiDAR (Light Detection and Ranging) utiliza la luz emitida por un pulso de láser instalado en un avión, para medir rangos (distancias variables) en la Tierra. Estos pulsos de luz, combinados con otros datos capturados por otros sensores en el avión, generan información precisa, tridimensional sobre las características de la superficie. Aunque esta tecnología es muy costosa, es especialmente útil para mapear zonas donde el acceso de buques y embarcaciones es limitado o riesgoso. Aquí clasifica en el tope de la lista, levantar la zona costera, por su menor profundidad y por la presencia de rocas y arrecifes.

La tecnología LiDAR tiene ciertas limitaciones y hay zonas geográficas donde no es factible su utilización. Puesto que los resultados dependen del grado de penetrabilidad del rayo de luz en la superficie, en áreas de gran turbiedad es imposible calcular la profundidad. El mal tiempo, junto a la presencia de nubes a bajas alturas es otro problema, que aunque está considerado dentro de los software de procesamiento, limita la calidad de los resultados. A pesar de esto, el uso de esta tecnología se expande a muchos sectores económicos.

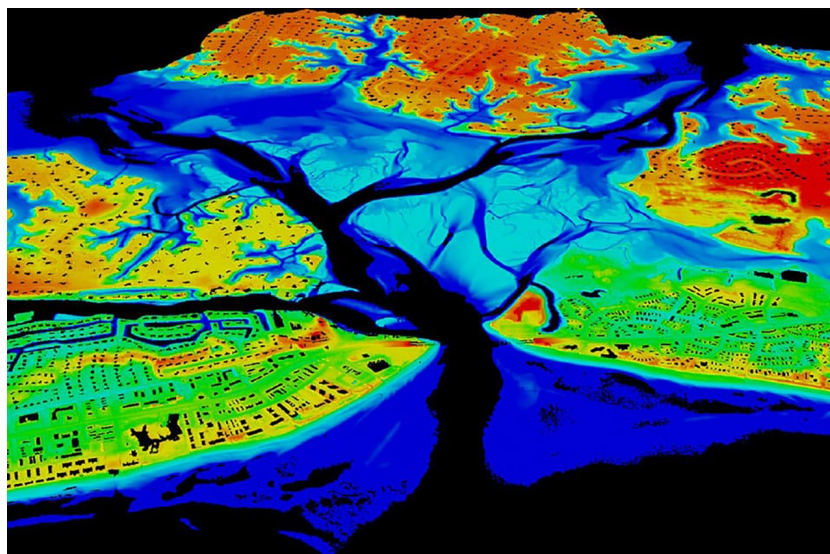


Figura 24. Mapa LiDAR de la Entrada de Lynnhaven, Virginia, EE. UU. (<https://digitash.com/>)



Otra de las plataformas de levantamiento, de uso muy reciente, lo constituye los AUV (Autonomous Underwater Vehicle), ROV (Remotely Operated Vessel) o USV (Unmanned Survey Vessel) cada una diferente de la otra, pero con el mismo propósito de mapear e investigar los océanos.

Otra de las tecnologías avanzadas para captura de datos, con amplio uso en la hidrografía es el uso de imágenes de satélite para calcular profundidades. Este método de batimetría satelital (Satellite Derived Bathymetry o SDB) se va haciendo cada vez más popular aun cuando es una tecnología de acceso limitado y ocasiona opiniones encontradas entre la comunidad científica e hidrógrafos a nivel mundial.



## CONCLUSIONES

Un proceso que comenzó para evitar un accidente en el mar ha derivado a lo largo de los siglos, en una actividad imprescindible para la vida económica del planeta.

El imponente río Misisipi descarga toneladas de sedimento en su desembocadura. Esto provoca que el US Army Corps of Engineers deba sondear y dragar los canales de entrada a la vía fluvial a diario. Sin conocimientos y tecnología de hidrografía, sería imposible navegar a través de este delta.

Las aplicaciones de la hidrografía hoy se han expandido de manera tal que ya los datos no solo se compilan y utilizan para garantizar la seguridad de la navegación. Los datos batimétricos se aplican ahora en la planificación del desarrollo costero, la construcción de infraestructuras portuarias, protección del medio ambiente, prospección petrolera en la plataforma continental, por solo mencionar algunos de sus usuarios.

Estudiar el desarrollo de la hidrografía es también estudiar nuestra historia y es evidencia de cómo nuestra sed de conocimiento y búsqueda de soluciones nos llevan constantemente al progreso.

Lo cierto es que, al decir del señor Robert Ward, exdirector de la Organización Hidrográfica Internacional:

Figuras 25. (Izquierda) AUV operado por la NOAA. (Derecha) ROV.

«Sin hidrografía, ningún barco zarpa, ningún puerto se construye, ninguna infraestructura costera se levanta, ningún plan de preservación marina se implementa, ninguna isla puede defenderse, ningún rescate en el mar se lleva a cabo, ningún modelo de inundación se desarrolla, ninguna frontera marítima puede establecerse ni aplicarse».

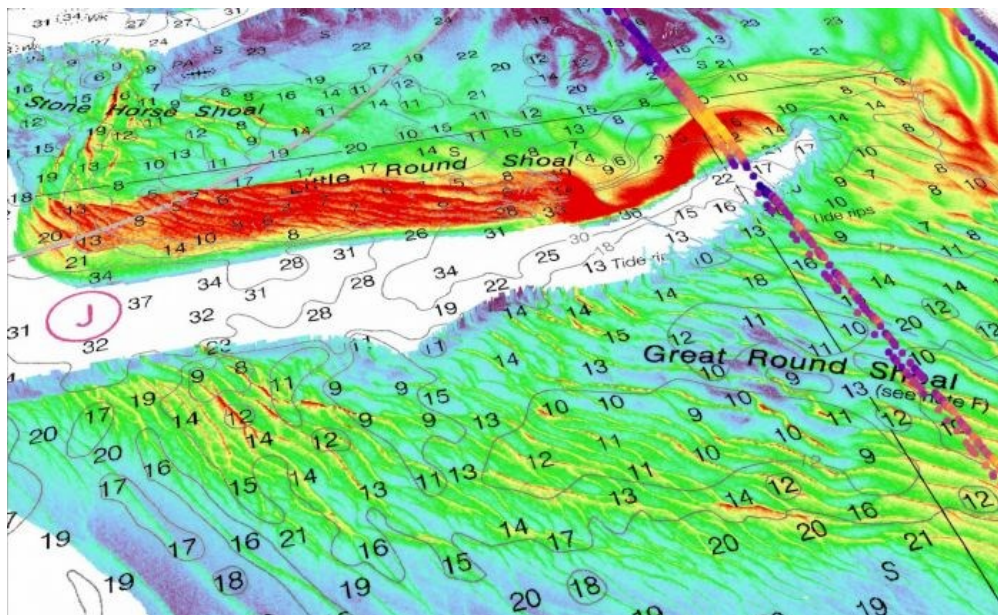


Figura 26. Batimetría satelital.  
TCarta Marine.  
(<https://www.hydro-international.com/>)

## BIBLIOGRAFÍA

Nigg, J. (febrero, 2014). La serpiente marina de Olaus Magnus. En <https://publicdomainreview.org/essay/olaus-magnus-sea-serpent>

Diccionario Náutico (2022). Sondaleza. En <https://diccionario-nautico.com.ar/sondaleza/>

Sociedad histórica marítima nacional (s/f). Sea History para niños. En <https://seahistory.org/sea-history-for-kids/leadline/>

Royal Museums Greenwich (s/f). Máquina de sondeo. En <https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-42900>

Historia y biografías (2014). Meridianos y paralelos de la Tierra: concepto de latitud y longitud. En <https://historiaybiografias.com/meridianos/>

New Scientist (2009). El genio de la longitud "solitaria" puede haber tenido ayuda. En <https://www.newscientist.com/gallery/dn17119-lone-longitude-pioneer-had-help/>

La música que nos rodea (s/f). La historia de las ondas sonoras. En <https://musicalsoundwaves.wordpress.com/the-history-of-sound-waves/>

Equipos y laboratorios (s/f). Artículos. En [https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/ecosonda-y-sonar-\(historia-usos-y-funcionamiento\)](https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/ecosonda-y-sonar-(historia-usos-y-funcionamiento))

Prabook (s/f). Alejandro Behm. En <https://prabook.com/web/alexander.behm/2562498>

CBC (2017). Este pionero de la radio canadiense soñaba con "palabras sin cables". En <https://www.cbc.ca/2017/this-canadian-radio-pioneer-dreamed-of-words-without-wires-1.4042893>

GPS.gov (2021). Otros sistemas mundiales de navegación por satélite (GNSS). En <https://www.gps.gov/systems/gnss/>

Spirent (2021). ¿Cuál es la diferencia entre GNSS y GPS? En <https://www.spirent.com/blogs/what-is-the-difference-between-gnss-and-gps>

Bathylogger (2018). Sondas de eco de haz único de estudio hidrográfico. En <https://bathylogger.com/single-beam-echo-sounders/>

Institute of Estuarine and Coastal Studies University of Hull (2010). South Humber Channel Marine Studies: Bathymetry & Hydrography Survey Report. En [https://www.researchgate.net/figure/Single-Beam-and-multi-beam-Echo-sounder-Transducer-Configurations-Force-1999\\_fig2\\_331928871](https://www.researchgate.net/figure/Single-Beam-and-multi-beam-Echo-sounder-Transducer-Configurations-Force-1999_fig2_331928871)

Geomares (2009). Batimetría Multihaz — Batimetría Monohaz. En <https://geomares.com/productos/>

Revista de Marina (2022). La batimetría y su representación en las cartas náuticas. En <https://revistamarina.cl/es/articulo/la-batimetria-y-su-representacion-en-las-cartas-nauticas/es>

Servicio Nacional del Océano (s/f). ¿Qué es una termoclina?. En <https://oceanservice.noaa.gov/facts/thermocline.html>

Servicio Nacional del Océano (s/f). ¿Qué es Lidar?. En <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>

Hydro International (2022). TCarta ofrece batimetría derivada de satélites para el piloto de mapeo costero de EEUU. En <https://www.hydro-international.com/content/news/tcarta-delivers-satellite-derived-bathymetry-for-u-s-coastal-mapping-pilot>

Organización Hidrográfica Internacional (2022). En <https://iho.int/>

## Alejandro Geronés

Consultor cubano-canadiense para Soluciones Geoespaciales con veinte años de experiencia en la implementación de soluciones hidrográficas a nivel global. Trabajó durante 16 años como consultor de ventas para CARIS. Actualmente, se desempeña como consultor para la empresa india IIC Technologies y dirige los cursos en línea para cartografía e hidrografía de la IIC Academy.

### Se sugiere citar:

Geronés, A. (2022). Del escándalo al satélite: Una historia mal contada de la Hidrografía. *Revista Cartógrafo.CL* 3(1), pp. 28-44.



Bajo Licencia Creative Commons  
Atribución 4.0 Internacional.