

# LAS CIENCIAS DEL MAR Y EL ARTE OPERACIONAL MARÍTIMO\*

---

*Capitán de Navío (RA) Samuel Rivera-Páez*

\* Capítulo de libro resultado de investigación del proyecto de investigación “El Poder Marítimo como fundamento estratégico del desarrollo de la Nación”, adscrito al grupo de investigación “Masa Crítica”, reconocido y categorizado en (B) por Colciencias, registrado con el código COL0123247, vinculado al Departamento Armada, adscrito y financiado por la Escuela Superior de Guerra General Rafael Reyes Prieto, de Colombia. La correspondencia con relación a este capítulo debe dirigirse al señor Capitán de Navío (RA) Samuel Rivera-Páez, PhD. Correo electrónico: samuel.rivera@esdegue.edu.co



## Introducción

Al pensar en las galeras empleadas por los romanos y su evolución hasta los buques y submarinos de hoy; en los vigías de la antigüedad merodeando el horizonte y su evolución hasta los radares de largo alcance que se emplean en los buques en la actualidad; en la evolución de las comunicaciones de las señales de semáforo hasta los equipos de transmisión satelital y de interacción automática o del sextante al posicionamiento por satélite, es innegable que el desarrollo científico y tecnológico ha tenido grandes implicaciones en los sistemas de detección y de armas empleados en la guerra naval. Al contextualizar los conceptos que los grandes pensadores y estrategias marítimos nos han aportado, también se hace evidente esa relación. El mundo de Mahan donde la capacidad de los navíos a vapor hasta ahora comenzaba a conocerse, fue diferente al mundo de Corbett después de la Primera Guerra Mundial o al mundo de los pensadores modernos que tuvieron la oportunidad de conocer con más detalle las capacidades del submarino y del avión en el desarrollo de la guerra en el mar o el poder de disuasión de las armas nucleares en el mundo moderno (National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, 2017).

Incluso esas ideas quedan relegadas en el mundo contemporáneo donde la era digital, la nanotecnología, la inteligencia artificial y el desarrollo satelital han permitido nuevas ideas, nuevos usos, nuevos conceptos, que expandieron el conocimiento y las capacidades operacionales del quehacer naval hasta desarrollar las formas como hoy se concibe la guerra en y desde el mar. Al final, los impactos de la tecnología han sido

en todos los niveles, desde el táctico hasta el estratégico, pasando por el operacional.

Los avances científicos y tecnológicos además de desarrollar nuevas plataformas navales y capacidades operacionales también han sido fundamentales para conocer mejor el medio en el que se desarrollan las operaciones. La evolución de la hidrografía para pasar de cartas en papel a electrónicas y conocer detalles de los fondos marinos; el desarrollo de la oceanografía y la meteorología para implementar modelos numéricos que permiten hacer predicción de fenómenos meteomarineros; la exploración profunda en temas relacionados con la física óptica y la del sonido que permiten, entre otras cosas, modelar las zonas de operación y anticiparse a riesgos que antes eran difíciles de detectar, son la base para afirmar que las diferentes ciencias han permitido al hombre conocer más sobre el comportamiento del mar y sus interrelaciones con la tierra y con la atmósfera.

Esto ha facilitado a su vez, mejorar los pronósticos y dotar de herramientas a las unidades navales para ejercer de mejor manera el control sobre el mar. También, al emplear esas tecnologías en favor del desarrollo marítimo y económico, se ha logrado mayor aprovechamiento de los espacios marítimos para beneficio de los Estados y sus poblaciones, fomentando el uso del mar como resultado efectivo de ese ejercicio propuesto.

Así como el tsunami en el océano Índico en 2004, puso de manifiesto que se necesitaba conocer más sobre la forma cómo se comporta el mar en casos de terremotos y la revisión de una serie de conceptos relacionados con el tema, el advenimiento de los cambios comentados que han sucedido en el último siglo, hace pensar que algunos de los conceptos clásicos de la estrategia marítima deberían ser revisados considerando los efectos positivos y negativos que han tenido los avances de la ciencia y la tecnología en el conocimiento del medio marino y cómo esto afecta el arte operacional en la guerra naval.

De cierta forma, es válido reconfigurar la definición del poder naval para incluir el conocimiento del medio marino y los flujos de información como ítems fundamentales para su comprensión. Si es así, pregun-

tas tales como ¿qué tanto afecta la estrategia marítima que yo tenga la Fuerza, la posición que me permite gravitar, la voluntad estratégica, pero no conozca las variables oceanográficas, meteorológicas e hidrográficas de mi teatro de operaciones? o ¿cuántas maniobras se han visto afectadas por el conocimiento o desconocimiento de las características del océano en el área de interés?, adquieren relevancia y llevan a la reflexión sobre diferentes aspectos en la relación entre las ciencias del mar y el arte operacional.

En particular, ¿cuáles son las capacidades por desarrollar para lograr proveer la información necesaria para la planeación de la maniobra estratégica naval? ¿Qué variables juegan un papel importante en la guerra naval? ¿Cuáles son los avances en el caso colombiano? Son preguntas que permiten analizar este tema en particular.

Siendo así, este capítulo se enfoca en el estudio de esas relaciones, tomando como punto de partida la necesidad que tienen las armadas del mundo de desarrollar capacidades para el conocimiento del medio en el que operan. Por lo tanto, a lo largo del mismo se tratará de demostrar que, a pesar de que el Estado colombiano a través de la Armada Nacional y de otras entidades del orden nacional como la Dirección General Marítima, ha logrado grandes avances en materia de capacidades y medios para el uso de las ciencias del mar en la generación de productos útiles para la guerra naval y el desarrollo nacional, aún son incipientes las capacidades existentes, necesitándose redoblar esfuerzos para lograr las metas que se ha impuesto el país de ser una Potencia Media Oceánica (PMO) (Comisión Colombiana del Océano, 2017) y desarrollar una Armada Mediana de Proyección Regional (AMPRE) (Alonso & Gómez-Fajardo, 2017).

Con esto se busca aportar en la construcción de capacidades y en el debate sobre cómo se debe enfrentar el país al desarrollo de nuevas tecnologías y capacidades que sirvan para los diversos sectores para contribuir al desarrollo marítimo y naval. La conformación de una mesa particular para el océano y los recursos hidrobiológicos en la Misión Internacional de Sabios que organizó el presidente Duque, en marzo de 2019, es una gran oportunidad para discutir sobre estos temas y lograr

metas ambiciosas que transformen la relación que el país tiene con el mar, conociéndolo e incorporándolo mejor en esos circuitos de desarrollo nacional.

Por ello, este capítulo se organiza de la siguiente forma: en una primera parte, se discute lo que se entiende en la literatura nacional e internacional sobre el concepto de oceanografía operacional; en la segunda parte, se construye la aproximación teórica de lo que son las Ciencias del Mar en diálogo con el arte operacional marítimo. Esto incluye detallar aspectos puntuales de la guerra naval en los que el conocimiento del medio tiene impactos definidos que deben ser trabajados ahora, y no cuando ya sea demasiado tarde. Considerando que la organización es importante para la producción de este tipo de herramientas que contribuyen al planeamiento naval, en la tercera parte del capítulo, se aborda una evaluación comparativa sobre cómo se organiza la oceanografía operacional en Estados Unidos y el Reino Unido y se describe lo que pasa en el caso nacional. Finalmente, se presentan algunas propuestas sobre transformaciones, adaptaciones o mejoras que podrían hacerse para el caso colombiano y se presentan algunas reflexiones finales.

## Sobre la oceanografía operacional

Dos conceptos se unen a la hora de hablar de oceanografía operacional. Por un lado, entender qué es y qué hace la oceanografía, y por el otro, comprender qué significa que eso que hace sea *operacional*. Respecto a lo primero, desde hace más de 170 años, se reconoce a la oceanografía como la ciencia que se encarga de describir los diversos componentes y elementos físicos, químicos, geológicos y biológicos que se derivan del océano, de la interacción de este con la atmósfera, de la interacción de este con los fondos marinos y por último, de la interacción de este con el litoral o costa (Weihaupt, 1984). El elemento *operacional* tiene dos acepciones principales.

La primera, tiene que ver con la capacidad de observar datos en un lugar específico del mar y transmitirlos en tiempo real de forma que

estén disponibles para su uso de manera inmediata. La segunda, muy relacionada con esta, se fundamenta en la capacidad de observar, usar, analizar e interpretar datos de manera *rutinaria* para describir el comportamiento de un medio en el pasado, el presente y el futuro empleando modelos numéricos (Parrilla-Barrera, 2001; Hoteit, Luo, Bocquet, Khl & Ait-El-Fquih, 2018).

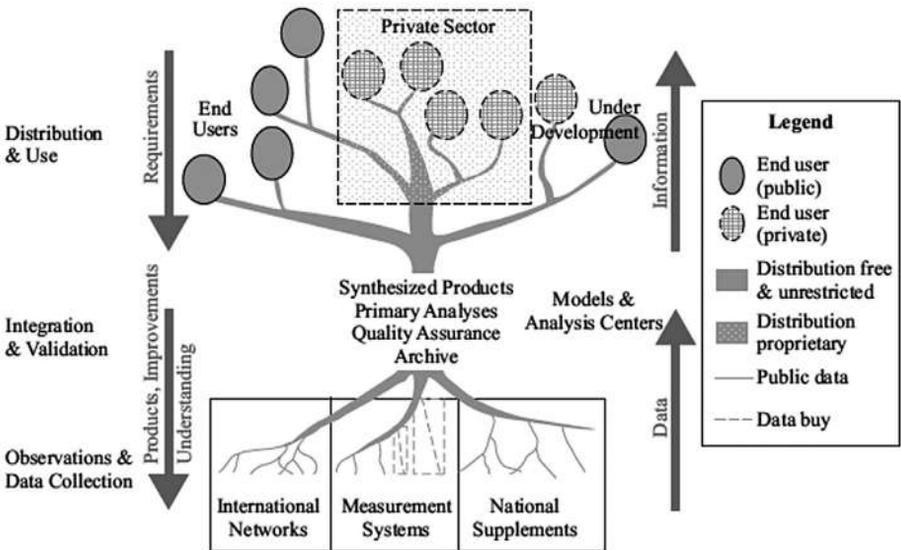
Por ende, la oceanografía operacional se puede entender como un *sistema*, un *proceso* o una *capacidad* que involucra el uso de conocimientos de diversas disciplinas relacionadas con las ciencias del mar (Schiller, Mourre, Drillet & Brassington, 2018). En ello, es conveniente hacer una aclaración en el sentido que no es un concepto utilizado exclusivamente por organizaciones militares. Como bien lo define el sistema de observación global de los océanos en su página europea (EuroGOOS, 2019): “son las actividades sistemáticas y las rutinas de largo plazo de medición del océano y la atmósfera, y su rápida interpretación y diseminación” (traducción propia del autor). Esa amplia visión científica demanda que, a la hora de hablar de *Oceanografía operacional*, adicional a la oceanografía, se deban considerar otras ciencias, tales como la meteorología, la hidrografía, la cartografía, la geodesia, e incluso la astrometría y la determinación exacta de la hora, como complementos claves para la comprensión integral de los fenómenos meteomarineros (Swain, Umesh & Harikrihnan, 2010).

Como sistema involucra la comunidad de científicos marinos y centros de investigación y todas sus interacciones en la producción de información meteomarina que va a ser usada por unos clientes finales. En el sistema se reconoce un proceso en el que se suelen visualizar tres grandes momentos, estos incluyen:

(I) la recolección de datos mediante diversos sensores localizados en los satélites que orbitan sobre la tierra, en el mar y en las zonas costeras que capturan esas variables físicas, química, geológicas e inclusive biológicas las cuales son transmitidas (II) a través de sofisticadas redes de manejo de datos en tiempo real o casi real a centros (III) procesamiento y modelamiento, donde expertos han desarrollado modelos numéricos que asimilan esos datos con el fin en convertirlos en información válida

para los diferentes usuarios. A partir de estos modelos, (IV) se producen los diversos productos que se envían a la comunidad marítima interesada, la cual está compuesta por las autoridades regulatorias, las entidades gubernamentales, los empresarios y, en general, todos aquellos usuarios que se benefician del mar (Davidson et al., 2019). Bell et al. (2013 citando a Dahl, 1999) presentan la Figura 1 en la que se representa a la *Oceanografía Operacional* como un árbol de la vida, donde las raíces muestran la importancia de las observaciones la recolección de datos; el tronco se interpreta como el análisis y las predicciones de manera genérica y las ramas muestran esa gama de actores y usuarios finales interesados en la información que se produce. Finalmente, la capacidad oceanográfica centra su atención en la necesidad de construir los escenarios posibles para lograr generación de robustos sistemas de observación y asimilación de datos ya que junto a sistemas de monitoreo, comunicaciones y redes digitales permiten la producción de información útil para diferentes sectores.

**Figura 1.** La oceanografía operacional representada como el árbol de la vida



Fuente: Bell et al. (2013) (citando a Dahl (1999))

Como lo señalan Schiller, Mourre, Drillet & Brassington (2018), al presentar una breve historia de la oceanografía operacional, tres aspectos han sido claves para su desarrollo: (I) el lanzamiento de satélites de observación; (II) el desarrollo de supercomputadores y (III) los avances en asimilación de datos. Para su evolución, la cooperación internacional jugó un papel fundamental al lograr integrar los esfuerzos por medio del Experimento Global de Asimilación de Datos Oceánicos (GODAE por su sigla en inglés) que funcionó entre 1997 y 2008. Mediante esta iniciativa se logró establecer una infraestructura global de gran eficiencia para la observación de los océanos (GODAE Ocean View, 2019). Esta infraestructura incluye una extensa red de boyas de deriva que transmite información permanentemente empleando la red satelital a centros en diversas partes del mundo, buques y plataformas que toman medidas constantemente y estaciones en tierra que complementan la red de sensores para el acoplamiento de información. Lo que se conoce en algunos casos como *perspectiva multiplataforma* (Chassignet, Pascual, Tintoré & Verron, 2018; MEDCLIC, 2019).

Roemmich et al. (2009), al describir detalladamente el programa ‘Argo’, destacan su importancia entre los sistemas de observación. Esta matriz global para observar el océano subsuperficial surgió de la necesidad científica de datos oceánicos para la investigación climática. A partir del desarrollo tecnológico, implementó a través de la colaboración internacional una red de cerca de 3000 boyas activas. El programa y su sistema de gestión de datos comenzaron con arreglos regionales en 1999, se ampliaron a nivel global en el 2004 y alcanzaron sus objetivos principales en 2007. El programa es liderado, principalmente, por los Estados Unidos que proporciona la mitad de los flotadores en la matriz internacional. Algo interesante es que la obtención de datos de ‘Argo’ es gratuita, sin restricciones, en tiempo real y en formatos de calidad útiles para la investigación científica.

La necesidad de contar con información en tiempo real ha hecho que la red de satélites disponibles para la observación y la transmisión de datos adquiera importancia. Como lo sugieren Lindstrom et al. (2009) “los satélites han revolucionado nuestra habilidad para observar los océanos

del mundo, cubriéndolos globalmente en intervalos menores a un día, y repitiendo esas observaciones globales por años, y en algunas ocasiones por décadas y más, desde un mismo satélite” (30). Según Bell et al. (2013) hay aproximadamente 30 satélites meteorológicos en operación, los cuales son operados en su gran mayoría por los países noratlánticos, como son Estados Unidos, Reino Unido y Francia. Los esfuerzos adicionales de países como China, Rusia e India comienzan a complementar estas redes. La complejidad y costo de un proyecto satelital es quizás una de las mayores barreras para que se tenga un uso masivo de este tipo de plataformas y una disponibilidad permanente para la obtención de datos en tiempo real en países menos desarrollados. Esto de alguna forma puede ser considerado como negativo para el desarrollo homogéneo de la ciencia entre los diferentes actores del sistema internacional, pero también ocasiona problemas prácticos frente a la calidad de los datos útiles para la investigación científica.

Otro aspecto importante frente a este desarrollo tecnológico es que cualquier observación satelital demanda la existencia de observaciones *in situ*, útiles para la calibración y validación de la información provista por estos sensores. La Figura 2 muestra cerca de 4700 plataformas activas *in situ* que proveen información para el Centro de Monitoreo del Sistema de Observación Oceánico de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA por su sigla en inglés). Esto involucra boyas de deriva, buques, boyas fijas, estaciones costeras y de fondo, boyas Argo y deslizadores, entre otros (NOAA, 2019) y refleja la complejidad de las redes de observación oceánica existentes.

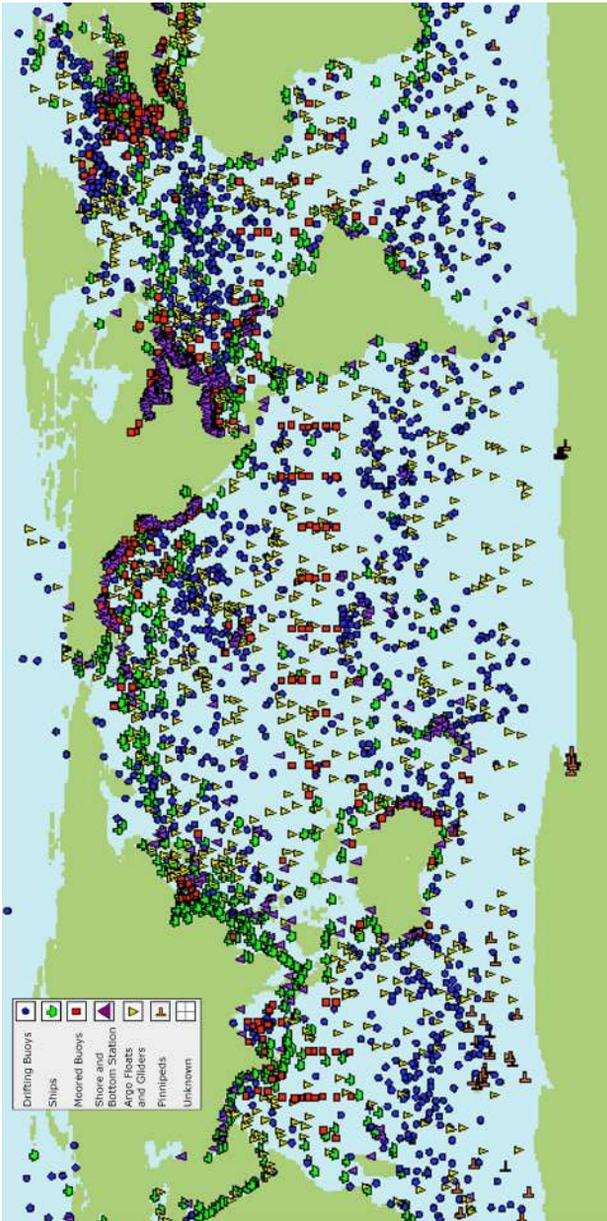
La articulación, integración y la estandarización juegan un papel clave para optimizar el uso de los datos y permitir que más usuarios puedan acceder a los mismos. El desarrollo de sistemas de información que se basen en la forma de obtención del dato, también son determinantes. Por ello, la mayoría de los países han desarrollado esfuerzos para estandarizar esos procesos y centralizar de alguna manera el manejo de la información correspondiente, habilitando a los interesados para hacer uso de ella.

Una vez se tienen los datos, es necesario discutir asuntos relacionados con su *asimilación*. “La oceanografía operacional efectiva se basa en la capacidad de asimilar grandes cantidades de datos recopilados por los sistemas de monitoreo en tiempo real en modelos avanzados de circulación general en instalaciones de supercomputadoras” (Hoteit, Luo, Bocquet, Khl & Ait-El-Fquih, 2018). La asimilación de datos es básicamente una técnica por medio de la cual se combinan diferentes fuentes de información para estimar el estado óptimo del sistema. Usualmente, las fuentes predominantes son las observaciones y los modelos numéricos (Blayo, Cosme, Nodet & Vidard, 2011). Las aplicaciones más relevantes de la asimilación están en (I) la estimación de trayectorias de un sistema; (II) la identificación de errores sistemáticos de los modelos numéricos; (III) la optimización de la red de observación; (IV) la estimación de variables no observadas y (V) la estimación de parámetros, entre otros.

Dentro de los productos más significativos están los relacionados con la provisión de reportes sobre: (I) la descripción más exacta posible del estado del mar y la atmósfera; (II) el pronóstico de las condiciones futuras y (III) el ensamblaje de series de tiempo que permitan entender condiciones pasadas y mostrar tendencias y cambios en los comportamientos habituales en ambos medios.

En relación con los usuarios, Bell et al. (2013) identifican al menos tres tipos de usuarios importantes. Aquellos que tienen requerimientos operacionales, los que van a definir asuntos de política y el mundo científico. Entre los primeros se identifican actores públicos, como las armadas de los diversos países y las organizaciones encargadas del pronóstico del clima. Entre los privados, las empresas dedicadas a las actividades marítimas, las de pesca y las de exploración y explotación costa afuera, principalmente. Para estos usuarios, la información provista por los Centros de Investigación va a facilitar la planeación estratégica, los diseños de soluciones a la medida y el desarrollo de las operaciones en el día a día de sus actividades específicas.

**Figura 2.** Plataformas in-situ de observación oceánica para el 26 de junio de 2019



Fuente: Centro de Monitoreo del Sistema de Observación Oceánico de la NOAA ([www.osmc.noaa.gov](http://www.osmc.noaa.gov))

Los usuarios enfocados en las políticas se van a centrar en productos que sirvan a delinear leyes efectivas para garantizar la seguridad de la vida o la propiedad, la protección del medio ambiente, el cumplimiento legal de las ordenanzas establecidas y obviamente, dentro del ciclo de la política pública, la efectividad de políticas implementadas con anterioridad. Un ejemplo, es el seguimiento que requiere un sector particular que pueda estar afectado por procesos de contaminación y que mediante política pública se quiera descontaminar.

Las mediciones in situ en las escalas de corto y largo plazo son claves para identificar el proceso contaminante y la efectividad de las políticas establecidas. Finalmente, los usuarios científicos requieren esta información para continuar con los procesos de investigación que permita una mejor comprensión de los fenómenos físicos, químicos y biológicos en el océano, pero también sus incidencias en el clima y en los procesos globales.

Estos usuarios se pueden clasificar por sectores, dentro de los que se pueden encontrar actores de los tres tipos antes descrito (Bell et al., 2013). Para nuestro caso, el sector de la seguridad y la defensa es el que nos interesa, ya que las diferentes armadas desarrollan operaciones navales alrededor del mundo son uno de esos potenciales usuarios. Por ello, ha sido usual que muchas de estas instituciones desarrollen robustos sistemas oceanográficos que les permita ser, de algún modo, independientes en la obtención, procesamiento y diseminación de la información de los productos porque requiere la flota naval para su operación.

En otros casos, se han articulado los esfuerzos nacionales, optimizando el uso de recursos y la generación de capacidades operacionales. Al final el conocimiento del medio donde se desarrolla la guerra se constituye en una ventaja estratégica y operacional útil para la ganarla. Como lo señalan Harding & Rigney (2006) la gran diferencia entre la oceanografía utilizada para la investigación científica y la oceanografía operacional empleada para la guerra en el mar, radica en que la primera trata de responder preguntas científicas, mientras la segunda busca proveer de productos útiles para las operaciones y los ejercicios navales en el mar. “El combatiente naval espera un producto oportuno y útil derivado de un requerimiento de producto específico pertinente

para su operación” (Harding & Rigney, 2006: 469). El oceanógrafo operacional debe hacer uso de los datos existentes, así estos sean limitados en contraste con el investigador científico quien desarrolla una actividad concreta de recolección de datos para responder preguntas también específicas.

De la misma forma, el oceanógrafo operacional debe sacrificar cierto nivel de rigor en el análisis derivado de las limitaciones temporales para proveer los productos demandados; pero a cambio debe tener la capacidad de probar rápidamente la calidad de esos productos para responderles a los combatientes.

## La relación entre las ciencias del mar y la guerra en el mar

Las necesidades de la guerra en el mar en lo que respecta al conocimiento del medio marino se han diversificado ganando en importancia y demandando mayor rapidez en la respuesta que los oceanógrafos den a los requerimientos de las armadas de sus países. Para los marinos de la antigüedad las condiciones del viento, de las corrientes, de la visibilidad y el sonido eran especialmente importantes, ya que dependían básicamente de sus sentidos para conocer la presencia de algún peligro. Desde la época en la que el capitán Matthew Fontaine Maury sistematizó la información de vientos y corrientes de los océanos del mundo recolectada en los diferentes viajes realizados por la Marina de Estados Unidos en el siglo XIX hasta hoy, los sistemas de medición, los equipos y las variables consideradas han cambiado significativamente (Weihaupt, 1984).

En esa época, lo más importante era conocer los mapas de viento y las profundidades para poder hacer una navegación a vela segura. Para ello, bastaba con hacer uso de escalas y una sondaleza que suministrara la información.

Con el desarrollo de la electricidad se dio paso al diseño e implementación de nuevas formas de medición, nuevos tipos de embarcaciones, nuevas armas y una amplia gama de equipos para medir diferentes variables físicas, químicas, biológicas y geológicas en el mar.

Durante la Segunda Guerra Mundial, la importancia de la investigación oceanográfica recayó en proveer información sobre el comportamiento del sonido en el agua para contrarrestar la acción de los submarinos y las minas y de estudios de batimetría para planear y ejecutar desembarcos anfibios, como el ocurrido en las playas de Normandía en junio 6 de 1944. Doel (2003), describe cómo, después de la guerra, bajo el patrocinio militar estadounidense, las llamadas ciencias de la tierra tuvieron una gran evolución, jugando un papel fundamental en la seguridad nacional, las relaciones internacionales y los asuntos geopolíticos, siendo uno de los ejes del desarrollo tecnológico norteamericano. El apoyo militar fue fundamental para que ciencias como la oceanografía, la geofísica, las ciencias atmosféricas, el magnetismo terrestre y los estudios de la ionósfera, adquirieran relevancia.

La Guerra Fría incrementó los requerimientos para la Guerra Antisubmarina; su finalización volvió a poner el interés en las condiciones que definían la guerra cercana a la costa y, en particular, las condiciones oceanográficas, meteorológicas y batimétricas que afectan a las operaciones especiales.

Como lo señala el Manual Conjunto 3-59 de Operaciones Meteorológicas y Oceanográficas del Comando Conjunto de los Estados Unidos (CJCS, 2018), el conocimiento del medio constituye un elemento fundamental de inteligencia para conseguir la victoria militar en el mar. En ese sentido, más allá del componente táctico, es imprescindible que el planeamiento y desarrollo de la maniobra estratégica se dé en el nivel operacional. Por ello, para los efectos de este capítulo, comprenderemos arte operacional como:

El uso del pensamiento creativo para desarrollar estrategias, campañas y operaciones importantes, y para organizar y emplear fuerzas militares. Rige el despliegue de esas fuerzas y la disposición de las operaciones emprendidas para lograr los objetivos. El arte operacional requiere una visión amplia, la capacidad de anticipar y la habilidad para planificar, preparar, ejecutar y evaluar. A través del arte operacional, los comandantes y el personal ordenan sus pensamientos y entienden las condiciones para la victoria antes de entrar en batalla (traducción propia del autor). (CJCS, 2018: 15)

Como sugiere esta definición y conceptualización, la búsqueda por lograr la supremacía en la información “ha coincidido con la disponibilidad de pronósticos de alta resolución de propiedades físicas oceánicas” (Schiller & Brassington, 2011). Esa habilidad para pronosticar lo que puede pasar con el medio en el que se opera también ha originado cambios en las formas en que las marinas del mundo operan.

En lugar de ir a un lugar en un momento predeterminado y determinar si el entorno es adecuado para llevar a cabo una misión de manera segura, las marinas ahora pueden elegir dónde y cuándo pueden operar de manera segura y eficiente para evitar efectos adversos o aprovechar condiciones favorables. (Jacobs, Woodham, Jourdan & Braithwaite, 2009)

La idea es, por tanto, conseguir información sobre variables decisivas que afectan la guerra naval de manera directa. Algunos de los factores específicos que han analizado diferentes comités de investigación en los Estados Unidos (National Research Council, 2003) incluyen entre otros:

**Tabla 1.** Factores específicos de importancia para las operaciones navales

Atmósfera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo (nubes, niebla, precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura del aire).</li> <li>• Luz ambiental, propiedades de la capa límite marina (temperatura, humedad, refractividad).</li> </ul>
Biológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruido ambiental.</li> <li>• Dispersión óptica.</li> <li>• Bioluminiscencia.</li> </ul>
Oceanográfico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mareas ondas internas (corrientes: superficie y subsuelo).</li> <li>• Conductividad del agua, temperatura, profundidad y salinidad.</li> <li>• Estado del mar.</li> <li>• Altura y dirección de la ola.</li> <li>• Condiciones de surf.</li> <li>• Propiedades ópticas (vertical y horizontal).</li> <li>• Turbidez.</li> </ul>

Batimétrica topográfica	y	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pendiente de fondo y playa.</li> <li>• Composición de fondo y playa.</li> </ul>
Acústico		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispersión.</li> <li>• Ruido ambiental.</li> </ul>
Geofísica/Magnética		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rugosidad y tipo de fondo.</li> <li>• Propiedades del sedimento, resistencia y estabilidad del fondo.</li> <li>• Fondo eléctrico y magnético ambiental.</li> </ul>
Antropogénico		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación.</li> <li>• Ruido.</li> </ul>

**Fuente:** National Research Council (2003).

Swain, Umesh & Harikrihnan (2010) sugieren que también se deben incluir la anomalía gravitacional, las actividades marítimas, las productivas e incluso, la contaminación.

Estas variables, además de orientar las operaciones en sí, sirven para gestionar actividades de desarrollo de la fuerza como ubicación ideal de bases, despliegue de campos minados, construcción de líneas de defensa de costa, entre otros. El tamaño del oleaje y su intensidad son factores claves para determinar el lugar apropiado para construir muelles y astilleros, pero también para determinar algunas de las características apropiadas de los medios de superficie a utilizar por una fuerza naval. Por su parte, el estado del mar juega un papel importante en la forma como se operan medios aeronavales y cómo se predicen las condiciones meteorológicas, definiendo cuáles periodos del año son convenientes o no para las operaciones en el mar.

Esto, por ejemplo, permite saber en que épocas se pueden presentar más incidentes que requieran esfuerzos de búsqueda y rescate en el mar. Los frentes oceánicos que originan cambios superficiales de importancia en ciertas regiones del mundo resultan de especial interés en este sentido (Swain, Umesh & Harikrihnan, 2010). Para el caso colombiano, esto se refleja en el fenómeno conocido como *mares de leva* en el Caribe colombiano, el cual es el resultado de la acción de frentes fríos originados

en el hemisferio norte y producen presiones superficiales en las aguas marinas afectando remotamente lugares tal como sucede en Colombia en las épocas de diciembre a febrero (Andrade, Thomas, Lerma, Durand & Anselme, 2013).

Otro aspecto clave es el rol que las mareas y sus regímenes de llenado y vaciado tienen para las operaciones navales. Es claro que “la altura de la marea y las corrientes asociadas en diferentes profundidades son entradas valiosas para estimar componentes predominantes en la circulación costera de llenado y vaciado durante el ciclo mareal” (Swain, Umesh & Harikrihnan, 2010), particularmente en zona costera. Los regímenes macromareales producen cambios significativos en el nivel del mar afectando las operaciones en bahías y zonas costeras. Ese es el caso del Pacífico en Colombia. Los regímenes micromareales, caracterizados por modificaciones menores del nivel del mar por las mareas, no tienen el mismo tipo de impacto y, por ende, no son tan importantes a la hora de considerar la marea para el planeamiento correspondiente, aunque sus efectos sean considerables para otras actividades humanas. Por otra parte, como también lo sugieren Swain, Umesh & Harikrihnan (2010) la distribución espacio-temporal de la temperatura y la salinidad, en conjunto con las condición de frontera de la superficie oceánica y de los fondos del mar, se constituyen en elementos claves para determinar los perfiles de velocidad del sonido y regulan la propagación del mismo en el mar. Para ello, las redes de boyas oceanográficas tomando medidas al mismo tiempo resultan de vital importancia para la precisión de los modelos de pronóstico que se implementen.

Otro aspecto clave en el planeamiento naval son las olas internas. Este tipo de oscilaciones propias de la atmósfera y el océano, como fluidos hidrodinámicos, influyen de diversas formas aspectos relevantes como la propagación del sonido en el mar o los regímenes de pluviosidad en la atmósfera, siendo determinantes para el planeamiento naval operacional. Como lo señala un estudio elaborado por Arthur Little (1966) este tipo de olas tienen efectos en dos importantes áreas operacionales de la guerra naval: la transmisión acústica y el control de la profundidad de boyas, submarinos y minas.

Como es posible observar, se puede afirmar que existen múltiples relaciones entre las ciencias del mar y la guerra naval. El conocimiento del medio resulta de especial importancia para aquellos que deben desarrollar el planeamiento operacional. Hoy, el éxito o fracaso de una campaña naval fácilmente recaen en la capacidad que tenga la Armada correspondiente de describir el ambiente operacional oportunamente y de la forma más exacta posible.

## Sobre la organización de la oceanografía operacional en diversas partes del mundo

Por considerarlo de especial interés para este capítulo, en este apartado se describen los aspectos organizacionales y de operación de la oceanografía operacional en los Estados Unidos y el Reino Unido para identificar los elementos que se constituyen fortalezas o debilidades en cada uno de los sistemas en esos países de forma que se pueda hacer una valoración de su estado en Colombia. El caso de los Estados Unidos resulta interesante en la medida que aporta a la comprensión de mejores prácticas en temas de organización, operación y doctrina en la relación entre la oceanografía y el arte operacionales. En particular, resulta de gran interés la conceptualización de operaciones navales denominadas Operaciones Meteorológicas y Oceanográficas (METOC por su sigla en inglés). El caso británico resulta interesante en la medida que articula los esfuerzos públicos y privados en una red articulada que promueve la colaboración y la coordinación interagencial desarrollando capacidades del orden nacional útiles para una multiplicidad de sectores.

### Caso Estados Unidos

Como ya se mencionó, los militares norteamericanos fueron los principales patrocinadores de la evolución en la posguerra de las ciencias del mar y de la tierra (Doel, 2003). En particular, resulta interesante reconocer que ese patrocinio permitió que institutos de la talla de Woods

Hole o Scripps se desarrollaran para ser lo que hoy son. Sin embargo, en aras al objetivo de este capítulo, nos centraremos en lo sucedido al interior de la armada norteamericana. Burnett, W., Harding, J. & Heburn, G. (2002) proporcionan una descripción completa de cómo esta realiza la oceanografía operacional en ese país donde “el Departamento de Defensa (DoD) y la Armada definen la visión y la misión, la Oficina Naval de Investigaciones (ONR, por su siglas en inglés) y el Laboratorio Naval de Investigación (NRL por su sigla en inglés) desarrollan la ciencia, la innovación y el desarrollo para abordar los requisitos y cumplir con la misión” y el oceanógrafo de la Armada “diseña el programa operacional para suplir los requerimientos de la Flota”. Para ello, como lo mencionan Harding & Rigney (2006) EE. UU. cuenta con dos centros de producción, varios regionales y destacamentos distribuidos geográficamente, asociados con las distintas flotas operativas de los EE. UU. en todo el mundo.

De acuerdo con el historial de requisitos cambiantes y la necesidad de proporcionar información oceánica cada vez más centrada en el usuario dentro del ciclo de decisión del combatiente, este enfoque centrado en la geografía comenzó a cambiar a fines de 2004. Desde su antigua estructura regional de entrega de productos, la oceanografía operacional naval de los Estados Unidos se transformó adoptando un modelo de operación más centralizado y eficiente, específicamente, en nueve disciplinas de guerra (o apoyo a la guerra).

Estos incluyen Guerra Antisubmarina, Operaciones Especiales Navales, Guerra de Minas y Navegación, cada uno con su propio director de programa militar. Hoy, la Oficina Oceanográfica Naval (Navoceano) es el principal centro de producción de productos oceanográficos de la Armada y su organización se encuentra adaptada a ese nuevo modelo de operación. Privilegia la organización por disciplinas técnicas y áreas de la guerra, lo que le permite producir productos con mayor especificidad según el requerimiento. Está conformada por los departamentos de:

- (I) Planes, programas y requerimientos: coordina tanto las solicitudes a corto plazo de los combatientes de guerra naval como

- los requisitos a más largo plazo, basados en las necesidades futuras de estos;
- (II) Hidrografía: batimetría para seguridad a la navegación en aguas profundas y poco profundas;
  - (III) Oceanografía: predicciones oceanográficas;
  - (IV) Geofísica y acústica: recolecta y procesa información sobre la columna de agua y las propiedades del fondo marino enfocado principalmente en la guerra submarina y de minas;
  - (V) Proyectos oceánicos: recolecta y analiza información ambiental enfocada a proyectos de corto plazo;
  - (VI) Ingeniería: provee apoyo técnico a los sensores usados en la exploración oceánica;
  - (VII) Centro de Soporte a la Guerra: encargado del análisis de imágenes de sensores remotos enfocado a la guerra especial;
  - (VIII) Centro de operaciones para las exploraciones: coordina el uso de los medios disponibles para realizar exploraciones oceánicas incluyendo el proyecto Argo;
  - (IX) Centro de Recursos Compartidos: uno de los diez centros computacionales más importantes del mundo, provee la capacidad crítica computacional necesaria para la operación.

El sistema norteamericano de oceanografía operacional cuenta con siete buques de exploración científica y una capacidad de banda ancha casi en tiempo real para llevar esa información desde los buques hasta los centros en tierra. Así mismo, cuenta con capacidad aérea y de superficie para desplegar boyas con sensores en prácticamente cualquier lugar del mundo. Estas capacidades se suman a los programas de intercambio de información internacional que le permiten al sistema tener acceso a la más relevante de otras plataformas y sensores remotos, para de esta forma configurar un *sistema multiplataforma* de recolección de datos en el mar.

A partir de este, se producen datos que son asimilados en múltiples modelos para producir la descripción de los parámetros del océano más relevantes para el planeamiento de las operaciones navales. Por ello, el

enfoque se centra en emplear analistas de pronóstico que interpretan las salidas de los modelos para generar productos más fáciles de entender por parte de quienes planifican y desarrollan la operación.

En relación con la doctrina, los Estados Unidos marcan una pauta al establecer las METOC como operaciones navales. Su fundamentación se basa en el hecho de que “negar o ignorar, el medio ambiente y sus efectos, puede traer impactos negativos, aún en la operación o campaña más cuidadosamente planeada o ejecutada”. La idea es “crear conciencia en el comandante de los elementos naturales en el ambiente operacional y la habilidad de explotar ese nivel de conciencia para ganar ventaja operacional durante las operaciones militares” (Joint Chiefs of Staff, 2018). De ahí que involucrar a personal especializado en METOC en el planeamiento de las campañas y las operaciones resulte altamente ventajoso.

La necesidad de forjar ese nivel de conciencia exige, por lo tanto, que las operaciones METOC tengan como principios precisión, consistencia, relevancia y oportunidad en la generación de productos que pueden contribuir a caracterizar o explotar el ambiente operacional. Por ello, en la disponibilidad y análisis de los productos METOC se deben incluir en: (I) la preparación de la inteligencia necesaria para el planeamiento naval; (II) los efectos esperados en el plan de fuego contra blancos específicos; (III) el planeamiento de movimientos y maniobras; (IV) la protección derivada de conocer los efectos ambientales sobre las capacidades del adversario y (V) el planeamiento logístico para garantizar la sincronización del suministro de alimentos, agua, combustible, armas, municiones y equipos en el lugar y momento esperados.

Adicional a ello, las operaciones METOC contribuyen en tiempos de paz a la cooperación en temas de seguridad y al éxito de las actividades de disuasión y en tiempos de crisis a la respuesta a esta y al planeamiento de operaciones de contingencia. En últimas, las operaciones METOC mejoran la habilidad del comandante para usar el liderazgo situacional maximizando el rendimiento operacional. De esta forma:

Los planificadores de METOC ayudan al comandante en el arte operacional integrando activamente su experiencia y conocimiento de las condiciones y efectos METOC, permitiendo así que el comandante visualice los impactos

adversos y evalúe cualquier riesgo potencial al organizar operaciones. (Joint Chiefs of Staff, 2018: 34)

Como se observa, la capacidad norteamericana para producir oceanografía operacional es robusta y define de cierta manera un ideal de lo que una armada puede desear: gran capacidad de recolección de datos; gran capacidad de asimilación de datos en tiempo casi real; gran capacidad computacional para el procesamiento de los datos; estructura doctrinal; desarrollo conceptual y articulación entre la ciencia y las operaciones en el mar para tener productos oportunos y útiles para el desarrollo de las operaciones navales.

### Caso Reino Unido

Para los objetivos de esta investigación, Bell et al. (2013) presentan una muy útil revisión al estatus de las capacidades en oceanografía operacional en el Reino Unido. El interés en este caso radica en conocer los mecanismos de coordinación en oceanografía operacional a nivel nacional y regional y explorar algunos de los retos que se vislumbran a mediano plazo. En primera instancia, es conveniente especificar que el esfuerzo en este campo en el Reino Unido se basa en una visión integral de las necesidades propias de la seguridad nacional y la seguridad pública, articulando los usos de la Armada Real (Royal Navy), otras dependencias del gobierno y el sector comercial. Por ello, se contempla que el sistema sirve, entre otros para:

- Monitorear el estado de los mares alrededor de las islas británicas y el clima de los océanos a nivel mundial;
- Proporcionar advertencia temprana/seguimiento de los eventos de alto impacto climático y oceanográfico;
- Inicializar modelos de predicción ambiental (para el clima, climática estacional y por década, del océano y las olas) y para verificar el rendimiento de tales modelos;
- Apoyar actividades comerciales (por ejemplo, petróleo y gas costa afuera);

- Proporcionar la verdad sobre el terreno para las observaciones satelitales;
- Mejorar la comprensión de los procesos que conducen a una mejor representación en los modelos de predicción (Bell et al., 2013: 2).
- 

La tabla 2 presenta un resumen de los sectores contemplados y la descripción del propósito del apoyo obtenido por el sistema de oceanografía operacional en el Reino Unido evidenciando la articulación antes mencionada.

**Tabla 2.** Sectores y propósitos de los apoyos provistos por la Oceanografía Operacional en el Reino Unido

Sector	Descripción
Ambiental	Para controlar y proteger el medio marino; incluye trabajos asociados a las Directivas Europeas (como la del Marco de Estrategia Marina (MSFD) y la del Marco del Agua) para mantener ecosistemas marinos saludables y pesquerías sostenibles, apoyar la respuesta a derrames de petróleo y hacer seguimiento del clima marino
Energía	Para mejorar la seguridad, efectividad y eficiencia de las industrias renovables y de petróleo y gas; incluye exploración y producción, planificación y operaciones rutinarias
Militar	Para apoyar la planificación y las operaciones rutinarias; incluye consideraciones para decisión tácticas útiles para submarinos, cacería de minas y desembarcos en la playa
Seguridad pública	Para evitar la pérdida de vidas; incluye inundaciones costeras, pronósticos para comercio marítimo, búsqueda y rescate y pronósticos de tiempo severo
Transporte	Para mejorar la seguridad, efectividad y eficiencia de las operaciones; incluye pronósticos de ruta y consejos a ciudades puerto y terminales.
Ocio	Para ayudar al público en general a planificar su día; incluye vela, canotaje, surf, buceo, pesca

**Fuente:** (Bell et al., 2013)

En el caso británico, la recopilación de datos se basa en una amplia red de plataformas donde, al igual que el caso norteamericano, la red satelital juega un papel fundamental para la captura y rápida transmisión de datos a centros especializados. Para ello, la Red de Datos e Información Ambiental Marina (MEDIN por su sigla en inglés) juega un papel fundamental para la coordinación e intercambio de datos públicos y privados tanto a nivel nacional como a nivel regional, integrando esfuerzos con sus contrapartes europeas. La revisión de esos datos y el análisis centralizado se realizan en dos centros específicos –el Centro Británico de Datos Oceanográficos y la Oficina Meteorológica– los cuales se encargan de diseminar los productos a centros intermedios y usuarios finales de acuerdo con cada necesidad.

Esto último resulta crucial en el análisis del caso británico. La organización se fundamenta en una coordinación centralizada en el Comité de Coordinación Científica Marina (MSCC por sus siglas en inglés), el cual se encarga de la colaboración y coordinación (como su nombre lo indica) del conocimiento, los recursos y las comunicaciones científicas relacionadas con la estrategia y el plan de ciencias marinas que apoyan la toma de decisiones políticas en el Reino Unido (UK Government, 2019). Este comité integra actores públicos y privados interesados en la oceanografía operacional británica, entre los que se destacan los señalados en la tabla 3. Esta visión multidisciplinaria, integradora y colaborativa, resulta de especial interés para revisar el caso colombiano.

**Tabla 3.** Principales actores y su papel en Oceanografía Operacional en el Reino Unido

Actores	Rol	Comentarios
Fugro-Geos	Proveedor de servicios comerciales	Proveedor de meteorología y oceanografía (metoceano) servicios para aplicaciones de ingeniería costa afuera y costera.
Grupo BMT	Proveedor de servicios comerciales	Proveedor de servicios para los sectores marino y costa afuera; incluidos los servicios de metoceano.
HR Wallingford	Proveedor de servicio intermedio sin fines de lucro	Proveedor de soluciones para operaciones en bahías, puertos y cerca de la costa.
BP, Shell UK, etc.	Usuarios finales comerciales	Las principales compañías petroleras del Reino Unido que están activas en actividades meteorológicas y oceanográficas (metoceano).
Petróleo y gas del Reino Unido	Asociación de comercio	El principal organismo representativo del petróleo y la industria del gas costa afuera del Reino Unido.
Asociación de Industrias Científicas Marinas (AMSI)	Proporciona el enfoque para los intereses oceanográfico y marino ambiental de los miembros de la Sociedad de Industrias Marítimas	Los miembros incluyen fabricantes, investigadores, empresas de auditoría y proveedores de sistemas en el sector de las ciencias marinas.
Armada Real (Royal Navy)	Seguridad nacional	Usuario final de información oceanográfica
Agencia Marítima y de Guardacostas (MCA)	Una agencia ejecutiva del departamento para el transporte responsable de la prevención de la pérdida de vidas en las costas y en el mar. Implementa la política de seguridad marítima del gobierno en el Reino Unido.	Ofrece un servicio de búsqueda y rescate marítimo en todo el Reino Unido (Guardacostas) las 24 horas y es el responsable de coordinar las respuestas a la contaminación del transporte marítimo y en instalaciones costa afuera.
Departamento para los asuntos ambientales, de pesca y rurales (Defra)	Política medioambiental, alimentaria y cuestiones rurales.	Fondos de vigilancia ambiental marina y marina/investigación pesquera.

Actores	Rol	Comentarios
Marina Escocia	Una institución del gobierno escocés responsable de asuntos marinos y cuestiones pesqueras en Escocia.	Realiza ciencia y monitoreo marino / pesquero.
Organización de Gestión Marina (MMO)	Un organismo público ejecutivo y no departamental establecido y con poderes bajo la Ley de Acceso Marino y Costero de 2009.	Responsable de la planificación, licenciamiento y gestión de las capacidades y cuotas de la flota pesquera del Reino Unido, así como del manejo de las áreas marinas protegidas y la respuesta a emergencias.
Departamento de Energía y Cambio Climático (DECC)	Política energética y de cambio climático.	Regulador para energías renovables marinas y petróleo y gas y financiador de la ciencia y observaciones climáticas.
Crown Estate	Propietario de las áreas marinas.	Licencias parques eólicos y extracción de agregados marinos.
Cefas	Servicios científicos (público y comercial).	Proveedor de datos y consumidor de servicios, realiza investigación y monitoreo marino/pesquero.
Oficina Meteorológica	Servicios de análisis y predicción (público y comercial)	Proveedor principal de servicios centrales, realiza observaciones subyacentes y realiza investigación aplicada.
Oficina hidrográfica	Para conocer requisitos nacionales, de defensa y civiles para la navegación y otra información hidrográfica.	Provisión de cartas náuticas y servicios de navegación para apoyar el transporte marítimo mundial, incluida la Armada Real (Royal Navy).
Institutos financiados por NERC	Implementación de proyectos piloto y puente a actividades operacionales	Mantiene la capacidad nacional en investigación. Apoya observaciones sostenidas y gestión de datos y piloto proyectos que se unen a las capacidades operacionales.
Sector Universitario	Liderar proyectos piloto	Investigación de cielos azules y proyectos piloto que se unen a capacidades operacionales.

Fuente: (Bell, et al., 2013)

## Caso Colombia

En Colombia, la oceanografía operacional para fines operacionales de la Armada Nacional está a cargo de la Dirección General Marítima, a través de los Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) y del Pacífico (CCCP). Se entiende como un “programa de investigación, desarrollo tecnológico y coordinación de todas las actividades del medio marino y atmosférico relativas a la oceanografía en general y a la meteorología marina” cuya finalidad es “generar conocimiento sobre el comportamiento de las condiciones oceanográficas y meteorológicas de las áreas jurisdiccionales de DIMAR, con el fin de establecer su dinámica”. Para los propósitos de este capítulo, se entiende este programa como un “elemento estratégico de soberanía, en función del apoyo a las necesidades operacionales de la Armada Nacional” (CIOH, 2019).

Para comprender mejor cómo se han desarrollado las cosas en el país, es necesario recapitular un poco la historia de la oceanografía, la forma como se ha ido forjando la estructura administrativa y operacional y cómo estas se han articulado a las operaciones navales. La Armada de Colombia ha sido un actor clave en el desarrollo de la Oceanografía Física en el país. Primero con la creación de la Comisión Colombiana de Oceanografía (hoy Comisión Colombiana del Océano) en 1969; después con la activación de la Facultad de Oceanografía Física de la Escuela Naval en 1969; la creación de los Centros de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe en 1975 y Pacífico en 1984 y, por último, con la adquisición de los Buques Oceanográficos ARC Malpelo y ARC Providencia en 1981 (Peña, 1998; Comisión Colombiana del Océano, 2015 y 2016).

Todas las capacidades mencionadas han sido claves para el desarrollo de la oceanografía operacional en el país. Los centros de formación han preparado personal especializado para trabajar en oceanografía física e hidrografía. Hoy se ofrecen programas técnicos en la Escuela Naval de Suboficiales y de pregrado y posgrado en la Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla, formando nuevas generaciones de científicos en estas áreas. Los buques han contribuido de diversas formas para aumentar la captura de datos en el mar.

Desde 1969, cuando el ARC San Andrés surcó los mares colombianos realizando la primera exploración científica nacional, hasta la fecha, se han realizado cerca de 52 cruceros oceanográficos en aguas del Mar Caribe y más de 27 en el océano Pacífico colombiano (RehabCenter b, 2019). Por su parte, los centros de investigación han tenido un progreso significativo en las capacidades de asimilación de datos y en la entrega de productos para usuarios finales de diferente índole.

Hacia comienzos de la década de los 90 del siglo pasado, se desarrollaron dos iniciativas importantes para la oceanografía operacional colombiana para fortalecer las capacidades de la Armada Nacional. La primera de ellas fue en el campo de la guerra antisubmarina asociado a la propagación del sonido en el agua de mar. Esta iniciativa liderada por el profesor titular de la Universidad Nacional, Hernán Estrada Bustos, inició en 1994 y tenía por finalidad el desarrollo de un modelo numérico en acústica oceánica –conocido como PROPAS– que permitiera conocer aspectos de la física del sonido.

Por ello, estudió, entre otros, los modelos de propagación para la ecuación de ondas del sonido en el océano (Estrada, 1994); la profundidad de capa; la configuración de canales de sonido en las aguas jurisdiccionales colombianas (Estrada, 2005) y la influencia de las características del fondo marino en la propagación acústica (Riascos & Estrada, 2010) en las aguas jurisdiccionales colombianas logrando significativos avances en el tema.

La segunda iniciativa fue la implementación de un programa de investigación en oceanografía táctica y operacional (Peña, 1998) que buscaba, entre otras, el diseño e implementación de modelos numéricos meteorológicos e hidrodinámicos que permitieran la predicción del comportamiento meteomarinero en la región.

En 1990 el CIOH dio inicio “a la implementación de la Central de Pronósticos Oceanográficos y Meteorológicos para la Armada Nacional (SEPROM)” (CIOH, 2019). Para el desarrollo de esta iniciativa se contó con el aporte del oceanólogo ruso, doctor Serguei Lonin, quien actuó como asesor científico para la modelación numérica en el CIOH entre 1995 y 2014, logrando el desarrollo e implementación de modelos para la circulación costera, estudio de los procesos de transporte de sustancias contaminantes, búsqueda y rescate en el mar y pronóstico del oleaje, entre otros.

Basados en el modelo Nedwam (*Netherland Wave Model*) lograron avances importantes hasta lograr una versión mejorada que se denominó CARIWAM III (Lonin, Lonina & Tuchkovenko, 1996; CIOH, 2019). En general estos modelos exigieron la asimilación de datos meteorológicos y oceanográficos para el mar Caribe (Anduckia, Lonin & Ivanov, 2003; Torres R., 2008; Torres & Lonin, 2009) y se han constituido en la base fundamental de la oceanografía operacional colombiana.

Hacia mediados de la primera década del siglo XXI entraron en competencia con otros diseñados en la Universidad de Cantabria que fueron traídos al país por oficiales que cursaron maestrías en esa institución. Años más tarde, se implementó también el método SWaN como modelo de oleaje, calibrado a partir de validación de reanálisis de oleaje en el Caribe (Dagua, Lonin, Urbano & Orfila, 2013). Hoy, unos y otros son utilizados para el desarrollo de los productos que proveen los centros de investigación para uso civil y militar actualmente.

Esas capacidades han demandado la implementación de diferentes plataformas de captura de datos para integrar lo que hoy se conoce como el Sistema de Medición de Parámetros Oceanográficos y de Meteorología Marina (SMPOMM) (Moreno & Muñoz, 2006), el cual se constituye en “la red de monitoreo meteomarinero en tiempo real más

grande de Colombia”. Esta red está conformada por dos (2) boyas Me-tocean localizadas en el Golfo de Morrosquillo y el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina; ocho (8) boyas de oleaje direccional con transmisión satelital, localizadas en Tumaco, Gorgo-na, Buenaventura, Bahía Solano, Golfo de Urabá, Barranquilla, Puerto Bolívar y en la Isla de Providencia; dos (2) boyas de Tsunami; veintidós (22) estaciones meteorológicas y cuatro (4) estaciones mareográficas.

Además, ha sido desarrollada por la Dirección General Marítima (DIMAR) en convenio con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Con los datos provenientes de esta red, “los Centros de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe y el Pacífico elaboran pronósticos del tiempo y del mar, y alertas tempranas por ocurrencia de eventos extremos de origen mari-no” (DIMAR, 2019).

La transmisión de los datos se apoya “en diferentes sistemas sate-litales que permiten la transmisión de los datos en tiempo cuasi-real”: GOES, Iridium e Inmarsat-D+ (Moreno & Muñoz, 2006). El primero pertenece a la agencia meteorológica y oceanográfica norteamericana (NOAA por su sigla en inglés) se utiliza para las estaciones meteorológi-cas automáticas satelitales (EMAS); la segunda red (Iridium) transmite los datos de las boyas de oleaje y el sistema Inmarsat es empleado en el caso que la boya derive de su lugar original (Moreno & Muñoz, 2006).

Otra capacidad asociada a este proceso es aquella que se deriva del trabajo del Servicio Hidrográfico Nacional (SHN), en cabeza de la Dirección General Marítima. El SHN es la organización encargada de hacer los levantamientos batimétricos para la producción de la car-tografía náutica nacional. Este trabajo arrancó en 1947 y se consolidó a partir de 1971 con la producción de la primera carta náutica colom-biana, aporta en la dimensión de conocimiento de los fondos y confi-guraciones de las diferentes regiones marinas y costeras de la nación. Su participación en proyectos internacionales también le ha permitido consolidar información de vastas áreas del mar Caribe y algunas zonas del Pacífico suroriental, incluyendo algunos sectores del continente antártico.

Por último, los centros de investigación en asocio con otras entidades nacionales e internacionales han logrado adquirir algunas capacidades para la recepción, interpretación y uso de imágenes satelitales para restitución del campo del viento y para la comprensión de fenómenos biológicos, físicos y geológicos de la zona costera.

### Propuestas para desarrollar y fortalecer las capacidades de oceanografía operacional en el caso colombiano

Tomando como base lo expuesto, es evidente que el modelo colombiano de oceanografía operacional tiene aún múltiples oportunidades de mejora en materia de organización, capacidades y articulación con los procesos de planeamiento naval. Esta sección se centra en presentar algunas propuestas para realizarlo. En procura de ello, se abordan las consideraciones propias de cada una de las etapas del proceso de producción de oceanografía operacional (recolección de datos; transmisión; asimilación; procesamiento computacional y productos) y de la estructura misma del proceso para el caso colombiano.

En relación con la captura de datos, es conveniente mencionar que la red instalada por la DIMAR en asocio con otras entidades como el IDEAM, es importante para la toma de diversas variables, pero no es suficiente. Por ello, al menos tres aspectos podrían contribuir en la calidad y cantidad de los datos recolectados.

La primera tiene que ver con el rol de las unidades de la Armada Nacional en el proceso. Como ya se mencionó, la mayoría de las estaciones que se emplean para la recolección de datos están bajo el control de la DIMAR, dejando de lado la información que recopilan unidades en tierra y unidades de superficie de la Armada de Colombia durante sus operaciones navales. El punto acá es que mientras las estaciones están fijas en sectores del litoral o en puntos fijos en el mar, las unidades de superficie que surcan los mares colombianos podrían aportar importantes datos de zonas apartadas.

Para ello, evidentemente, se requiere la implementación de un sistema de captura de datos y de calibración de equipos para garantizar que las mediciones sean precisas y confiables.

Estos dos procesos son fáciles de implementar a partir de las competencias adquiridas por personal que hoy labora en las diferentes dependencias de la DIMAR. La segunda tiene que ver con la densidad de los datos obtenidos. Como ya se mencionó previamente, la red de plataformas para la captura de información hoy es importante pero no suficiente. La ampliación de esa red se constituye en una prioridad para la caracterización en tiempo real de zonas marítimas de interés. Esto incluye aumentar la cantidad de boyas y de estaciones en tierra para lograr mejores coberturas.

El tercer aspecto frente a la obtención de datos es mejorar el acceso a la información obtenida en plataformas satelitales. El costo y disponibilidad de estas, hacen que el proceso sea complejo y que dependa de programas de intercambio de datos internacionales, sin contar con las capacidades propias. El punto acá es buscar la implementación de un satélite de recolección de información meteomarina que permita cierto nivel de autonomía en la obtención de importantes variables oceanográficas y meteorológicas en aguas jurisdiccionales colombianas y que sirva también para el proceso de transmisión de datos.

Conseguir capacidades satelitales propias para la transmisión de datos desde los lugares de origen hasta los centros de procesamiento, pareciera ser un logro difícil de conseguir. Tan solo hasta noviembre de 2018, Colombia, con el liderazgo de la Fuerza Aérea colombiana, puso en órbita un satélite de observación de la tierra denominado FACSAT-1 con capacidades incipientes para la transmisión de imágenes del territorio colombiano (Fuerza Aérea Colombiana, 2019)<sup>206</sup>.

Este primer paso sirve para demostrar la importancia de adquirir capacidades propias que le permitan la obtención de datos más especializados sobre diversas variables y la transmisión de estos desde diversas plataformas localizadas en las aguas jurisdiccionales o en las zonas costeras nacionales. Que la Armada se integre a esa iniciativa junto con otras instituciones del Estado seguramente contribuirá en demostrar la importancia del proyecto satelital para el país.

---

20 En abril de 2007 la Universidad Sergio Arboleda había logrado, con fines experimentales, realizar con éxito la puesta en órbita del satélite Libertad 1 (Universidad Sergio Arboleda, 2019).

Frente a la implementación de modelos numéricos de pronóstico y la asimilación de datos en esos modelos, al menos dos asuntos resultan claves para el futuro del programa de oceanografía operacional colombiano. El primero tiene que ver con la capacidad computacional necesaria para asimilar información y correr modelos robustos. El Sector Defensa está en mora de contar con la capacidad de un sistema de computadores robusto y seguro que le permita hacer análisis operacional de información en modelos de pronóstico casi en tiempo real.

La idea de contar con un supercomputador en el sector está directamente relacionada con mejorar las oportunidades para desarrollar ambientes de inteligencia artificial que contribuyan al planeamiento militar en todas sus dimensiones. El uso de este tipo de sistemas para el análisis de información ambiental, operacional, geográfica, e incluso social, permitiría contar con herramientas sofisticadas que minimicen riesgos en las diferentes etapas del planeamiento y ejecución de operaciones en el territorio nacional.

El segundo aspecto, tiene que ver con el personal disponible y capacitado para desarrollar esos modelos y esos procesos de asimilación. Si bien, para fines ambientales, hoy se consiguen modelos para desarrollar productos de pronóstico de variables meteomarinas, es bien cierto también que el desarrollo de herramientas propias, como las desarrolladas en los centros de investigación de DIMAR, además de construir capacidades científicas, también genera cierto tipo de autarquía necesaria para los fines militares.

Lamentablemente, pareciera ser que el esfuerzo realizado desde finales del siglo XX en el diseño e implementación de modelos numéricos propios y en asimilación de datos se ha visto menguado por la salida de personas claves en esos procesos. Por ello, resulta fundamental, no solo retomar la senda trazada, sino aprovechar la oportunidad que brindan los programas de educación en oceanografía e ingeniería costera que se han fortalecido en el país. La idea es, siguiendo el modelo que empleó la Fuerza Aérea para fortalecer su programa meteorológico, formar un número importante de oficiales y suboficiales en la materia y promover la contratación de matemáticos, físicos y progra-

madores para continuar con el esfuerzo desarrollado en modelación y asimilación de datos.

Frente a los productos, la disponibilidad de información, el aumento de las capacidades de procesamiento y el desarrollo de competencias profesionales permitirá incorporar nuevas variables en los productos finales que hoy cobijan datos básicos de las condiciones meteomarinas de operación. Esas mejoras integrales del sistema seguramente permitirán pensar en modificar las escalas, el rigor y el alcance de los análisis, consiguiendo de esta forma mejorar el planeamiento operacional.

Finalmente, en materia de organización surgen también dos temas que de promoverse pueden contribuir a ampliar las oportunidades de la oceanografía operacional. La primera tiene que ver con la organización dentro de la Armada como tal, donde pareciera no existir una estructura que tenga como finalidad el trabajo en estos temas. Si como bien se mencionó la oceanografía operacional hace parte de las capacidades de gestión de la información propias de la inteligencia naval, resulta clave copiar de alguna forma el modelo norteamericano que otorga un lugar y momento a la contribución que las ciencias del mar pueden hacer a la guerra naval.

La implementación de la figura del Oceanógrafo de la Armada podría aportar con ese fin. Se trataría de esa organización donde se planea el sistema y se ponen en ejecución las políticas para que la parte operacional de la oceanografía pueda producir resultados. No se trata de entrar en competencia con la DIMAR en funciones propias de esa institución, sino como en otros casos (control del tráfico marítimo, intereses marítimos, etc.) comprender las diferencias en los intereses y fines que cada una de las instituciones tiene y complementar esfuerzos para beneficiarse de los resultados.

La segunda es retomar la idea del señor Almirante Ernesto Durán González, quien en el año 2000, cuando era Capitán de Corbeta, ganó el premio de investigación científica del Instituto de Políticas para el Desarrollo de la Pontificia Universidad Javeriana y el Centro Nacional de Estudios Estratégicos, con la propuesta de articular esfuerzos a nivel del Comando General de las Fuerzas Militares en materia de investigación meteorológica, oceanográfica, cartográfica e hidrográfica para lograr la

superioridad de la información natural necesaria para la efectiva ejecución de operaciones militares en el país (Durán, 2000).

Se trata básicamente de reconocer que la información ambiental es fundamental para la efectividad militar y que, por ello, la organización militar contemporánea no puede dejar de lado el planeamiento y ejecución de operaciones conjuntas en la dimensión correspondiente (ME-TOC), tal como lo hacen fuerzas militares de países mucho más avanzados que Colombia. Esa Jefatura Conjunta sería una estructura dentro del Comando General de las Fuerzas Militares que le permitiría al país integrar esfuerzos y lograr productos de calidad superior, reduciendo costos y logrando economías de escala.

## Reflexión final

Por último, se debe rescatar la importancia que tienen estos avances para lograr concientizar a la clase política sobre las necesidades de los medios y los recursos que tiene la fuerza operativa para desarrollar operaciones de ejercicio de control del territorio de manera efectiva. En este aspecto, el apoyo estratégico del poder ejecutivo en los desarrollos tecnológicos y científicos que permitan las ventajas operacional y táctica resulta determinante para la victoria militar. La implementación de estos sistemas, la reconfiguración de las estructuras, la capacitación y contratación de funcionarios demanda recursos significativos que solo son viables con el apoyo del ejecutivo nacional, incluyendo al Ministerio de Hacienda, al Departamento de Planeación Nacional e incluso al mismo Ministerio de Defensa.

Al final, estas mismas capacidades redundarán en beneficios para otras áreas de la economía nacional, tales como la operación de plataformas de exploración y explotación de hidrocarburos costa afuera, la operación de terminales aéreos y marítimos y la operación turística, entre otros. A su vez, le permitirá al país y a su sistema de ciencia y tecnología mostrar nuevos desarrollos que resultan fundamentales en la gestión pública y en el desarrollo de las nuevas sociedades del conocimiento.