



Tecnología subacuática para protección y aprovechamiento de los intereses marítimos nacionales

RESUMEN

México cuenta con amplios intereses marítimos que requieren ser protegidos y explotados en beneficio de su población. Citados recursos se localizan en un área equivalente al 61.72% de la superficie nacional que se conoce como Zonas Marinas Mexicanas (ZMM). Considerables esfuerzos han sido canalizados hacia la adquisición o construcción de medios de transporte y sensores capaces de operar en los ámbitos de superficie y aéreo, sin embargo, lo que ocurre por debajo de la superficie del mar es un tema poco explorado debido a que México no cuenta con tecnología subacuática propia. La amenaza prevaleciente en esas zonas es principalmente delincuencia organizada, cuya tendencia es aprovecharse de las deficiencias que presenta el Estado para incrementar sus ganancias.

Recientes cambios en los paradigmas políticos y comerciales en varias partes del planeta han motivado un incremento en los presupuestos militares en materia de tecnología submarina. México, como poseedor de grandes recursos, debe considerar esas acciones y concentrar esfuerzos institucionales para enfrentar el reto tecnológico que disminuya la dependencia en este sector estratégico, a fin de proteger y aprovechar adecuadamente sus intereses marítimos.

La Secretaría de Marina–Armada de México (SEMAR), en alianza con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), ha desarrollado prototipos de sensores subacuáticos para explorar el medio oceánico. Otras instituciones están reorientando sus políticas y concentrando sus recursos en áreas con enorme potencial de crecimiento, tales como exploración y extracción de hidrocarburos en aguas someras y profundas, pesca, infraestructura portuaria y transporte marítimo. Los resultados alcanzados por SEMAR en la generación de infraestructura básica y desarrollo de transductores subacuáticos en un corto plazo, demuestran que nuestros ingenieros poseen capacidades para diseñar y construir la tecnología requerida, así como mantenerla en mejora continua.



El desarrollo de tecnología subacuática es fundamental para optimizar la protección y aprovechamiento de los intereses marítimos nacionales, lo cual solo es posible mediante el esfuerzo interinstitucional unido por una visión *talasopolítica*.

Abstract

México possesses wide maritime interests which require to be protected and exploited in benefit of its society. These maritime interests remain in an area occupying 61.72% of the total country extension named Mexican Marine Zones (MMZ). Considerable efforts have been done to acquire or develop ships and sensors which operate on surface and aerial environments. Nevertheless, what is happening below our sea surface remains an unexplored topic, since Mexico lacks its own underwater technology. Prevailing threat on the MMZ is mainly organized crime, focused on taking advantages of the state weaknesses to increment their profits.

Recent changes on political and commercial paradigms in several parts of the planet have motivated an increase in military budgets focused on underwater technology. México should take this situation as an opportunity to face the technological challenge and start developing its own devices that reduce dependence on this strategic sector while exploiting properly its maritime interests.

The alliance SEMAR-CONACYT has gathered efforts and started developing underwater sensors to explore our waters. Other public institutions have reoriented their policies and focused in high value areas, like fishing, oil exploring and extraction in shallow and deep waters, port infrastructure and maritime transport. The SEMAR attained results on building underwater facilities and transducers, in a short period of time, shows that our engineers can design and construct underwater technology while keeping up to date.

Developing underwater technology is fundamental to optimize protection and exploitation of the maritime interests remaining in the MMZ. This could be done by joining academic, public and industry efforts on a thalassopolitical vision.

PALABRAS CLAVES

Tecnología subacuática, intereses marítimos, desarrollo tecnológico, amenazas a la seguridad nacional, factores operacionales, objetivos estratégicos y operacionales, Zonas Marinas Mexicanas, alianzas estratégicas, esfuerzos coordinados, talasopolítica.

**Key words**

Underwater technology; Maritime interests; Technological development; National security threats; Operational factors; Strategic and Operational objectives; Mexican marine zones; Strategic alliances; Coordinated efforts; Thalassopolitics.

MARCO CONCEPTUAL

La tecnología es el conjunto de recursos y procedimientos que optimizan las tareas o responsabilidades asignadas. Para el medio subacuático se refiere a los artefactos y sensores capaces de recolectar información de nuestros mares que fundamenten la toma de decisiones. La materialización de citada tecnología subacuática requiere un equipo multidisciplinario con conocimientos y habilidades en ingeniería mecánica, naval, oceanografía, ruido submarino, plataformas, tecnología de sonares, materiales acústicos, procesamiento de señales analógicas y digitales, arquitectura de software, entre otros (Li, 2012). Los países que cuentan con estos conocimientos y experiencia la comparten solo con aquellos que están a su mismo nivel tecnológico, en virtud del carácter estratégico que le otorgan.

El área de estudio son las Zonas Marinas Mexicanas (ZMM) que comprenden el Mar Territorial; las Aguas Marinas Interiores; la Zona Contigua; la Zona Económica Exclusiva; la Plataforma Continental y las Plataformas Insulares; además de cualquier otra permitida por el derecho internacional (Ley Federal del Mar, 1986).

Por otro lado, los intereses marítimos nacionales se refieren a todo aquello que esté conectado al mar, es decir, los actores principales en el uso de las vías de comunicación marítimas, así como las facilidades portuarias y la industria de la construcción naval (Centro de Estudios Superiores Navales, 2003). En octubre de 2011, la Academia de Ingeniería de México AC. hizo una compilación de estudios y propuestas de expertos a fin de recomendar acciones que fortalezcan los intereses marítimos del país. El compendio identifica y detalla 23 intereses marítimos nacionales, entre los que incluye la tecnología submarina (Academia de Ingeniería de México AC., 2011).

Para efecto de entender la terminología empleada en esta investigación es preciso mencionar que existen tres niveles de conducción de las operaciones: estratégico, operacional y táctico, en el presente estudio nos enfocaremos principalmente al nivel operacional, ya que enlaza el empleo táctico de las Fuerzas para cumplir los objetivos estratégicos asignados a los Teatros de Operaciones, que aquí se definen como el área geográfica donde una campaña se lleva a cabo y los mandos de Teatros de Operaciones son los responsables de conducir el nivel operacional de la guerra. En tiempos de conflicto mayor, los Teatros se integran con personal de las tres fuerzas armadas nacionales, sin embargo, en



tiempo de paz, los Teatros de Operaciones de las ZMM son ejercidos por la Armada de México a través de las Fuerzas y Regiones Navales (RN).

El Dr. Luis Dallanegra Pedraza define talasopolítica como una rama de la geopolítica que estudia la superficie predominante del planeta representada por los océanos (71%). Implica el estudio y las políticas del Estado tendientes a preservar, explotar y proteger los intereses marítimos (Pedraza, 2013).

SITUACIÓN Y PROBLEMÁTICA IDENTIFICADA

El Dr. Alfredo Jalife Rahme, geoestratega y profesor de la Universidad Autónoma de México, considera que el mundo camina hacia la desglobalización, tendiendo hacia la regionalización. Esta hipótesis es apoyada por el planteamiento del ruso, Alexander Dugin, quien considera que «el mundo unipolar ha encontrado un factor muy importante a lo largo del periodo 1991–2016» (Dugin, 2017). Numerosos analistas y expertos en geopolítica prevén dos escenarios mundiales: apolaridad o multipolaridad liderada por las principales potencias: Estados Unidos, China y Rusia. Citadas potencias han concentrado considerables esfuerzos en investigación y desarrollo tecnológico de plataformas, sensores y armas subacuáticas que favorezcan la protección y aprovechamiento de sus respectivos intereses marítimos y que coinciden con su política de defensa hacia el exterior.

En el plano global y regional, recientes cambios de dirigentes políticos han roto paradigmas que mantenían a los países y organizaciones en *statu quo*. Las principales potencias militares emplean sus fuerzas para cercar a otras o posicionarlas próximas a los recursos naturales estratégicos, tales como el petróleo, litio, agua y material radioactivo. De lo anterior, resaltan los recurrentes conflictos en el medio oriente; los ensayos nucleares de Corea del Norte; las constantes muestras de poderío militar y roces que se dan en el mar de China; el resurgimiento de Rusia; la separación del Reino Unido de la Unión Europea; así como movimientos sociales en Sudamérica que favorecen cambios en el control de los recursos energéticos y acuíferos probados más importantes del planeta.

El Dr. Luis Dallanegra menciona que América Latina tiene los mares más productivos, pero vive de espaldas a ellos, es decir no practica una doctrina talasopolítica. Prueba de ello es que la mayoría de sus capitales se localizan tierra adentro, salvo el caso de Perú, Venezuela y Uruguay (Pedraza, 2013).

Los países sudamericanos son usuarios de submarinos y sensores de fabricación principalmente alemana y en menor proporción francesa. Brasil es el único país que ha emprendido programas de inversión tendientes a desarrollar tecnología que reduzca la dependencia externa, sin embargo, problemas sociales y políticos han reducido su liderazgo regional.



Por otra parte, los Estados Unidos de América (EE.UU.) han empleado tecnología submarina desde su guerra de independencia en 1776. En la actualidad cuentan con una Fuerza de Submarinos de Ataque de propulsión nuclear (*Strike Forces*) con capacidad transoceánica y a pesar de haber apostado por la propulsión nuclear, no descartan la amenaza que representan los nuevos submarinos convencionales, es decir aquellos de propulsión Diesel-eléctrico, por lo que desde 2001 implementaron una iniciativa llamada *DESI* (*Diesel Electric Submarine Initiative*) a fin de realizar operaciones de entrenamiento conjunto con submarinos convencionales de Perú, Colombia, Chile y Brasil, entre otros.

El Dr. Dallanegra menciona que, en América Latina, la falta de investigación científica y tecnológica atenta contra la posibilidad de desarrollo, mucho mas aún cuando el mundo se dirige hacia la sociedad del conocimiento (Pedraza, 2013). Un estudio publicado por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE, 2015) destacó que del 2013 al 2014, México lideró las reformas en materia de política pública a nivel mundial. Sin embargo, en materia de investigación y desarrollo (I+DT) coloca a nuestro país en penúltimo lugar, con una inversión menor al 0.5% del Producto Interno Bruto (PIB). Corea lidera la inversión con 4.4% de su PIB. Una visión global de la participación en este rubro se ilustra en la figura 1 a continuación:

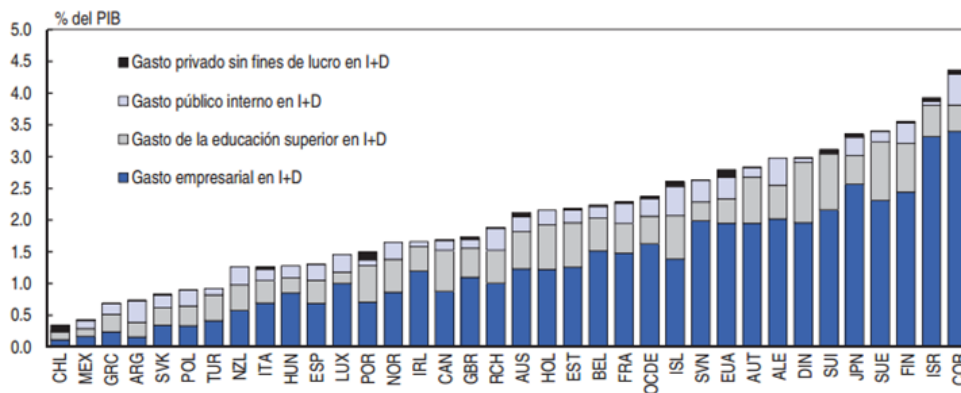


Figura No. 1. Gastos en Investigación y Desarrollo Tecnológico (I+DT) por países.

Fuente: OCDE 2012.

Fuente: Base de datos OECD Main Science and Technology Indicators.

StatLink <http://dx.doi.org/10.1787/888933174843>

Las razones por las cuales la sociedad mexicana ha mostrado una baja generación de patentes y desarrollos tecnológicos quedan fuera del alcance del presente trabajo de investigación. Algunos pensadores y geopolíticos se la atribuyen a la política exterior del mayor consumidor de recursos y principal socio comercial de nuestro país. Su influencia ha sido materializada por instrumentos como la Doctrina Monroe (1823), Tratado de Guadalupe Hidalgo (1848), Tratados de Bucareli (1923), Acta de Chapultepec (1945), la cual fue complementada con el Tratado de Río en 1947 (México lo abandonó en 2002) y la creación de la Organización de Estados Americanos (1948). Los documentos citados son complementarios a los lineamientos que establecieron grandes estrategias como Mahan, Kissinger y



Brzezinski, por mencionar algunos. Los instrumentos y personajes citados delinearon las bases para asegurarles un flujo continuo de materia prima y personal para manufactura de componentes. Esta situación ha generado grandes beneficios nacionales, especialmente cuando los EE.UU. enfrentaron guerras o tensiones con otras potencias, pero nos deja dependiente de los efímeros recursos.

La situación global y regional mencionada refleja la necesidad de reducir la dependencia tecnológica del exterior y explotar adecuadamente el inmenso potencial que radica en la juventud mexicana con capacidades de diseño y desarrollo de los sistemas requeridos, en lugar de ser subutilizados mediante la maquila de componentes menores de sistemas extranjeros. Contrarrestar esos antecedentes históricos requiere poner en marcha efectiva los objetivos nacionales para «hacer del desarrollo científico, tecnológico y la innovación, pilares para el progreso económico y social sostenible» (Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, 2013). Es innegable que a pesar de la gran cantidad de recursos y esfuerzos invertidos nos ha faltado estar unidos y coordinados bajo una visión talasopolítica que apuntale las actividades productivas, identificando la siguiente problemática:

- Escaso conocimiento técnico en el área de acústica subacuática, en virtud de que los planes de estudio de las Instituciones de Educación Superior (IES) se encuentran más orientados hacia el área de acústica arquitectónica y musical.
- Escasa experiencia operativa en el empleo de tecnología subacuática, ya que los sistemas de sonar instalados a bordo de los buques de la Armada de México presentan elevados costos de adquisición y mantenimiento.
- Escasa conexión de las Instituciones de Educación Superior con el estudio y aprovechamiento de los intereses marítimos.
- La industria nacional no ha invertido en la infraestructura necesaria para la producción de componentes clave en el desarrollo de tecnología subacuática, tales como cerámicas piezoeléctricas, tarjetas electrónicas de procesamiento, cables electromecánicos, sistemas de remolque, estructuras metálicas para la construcción de plataformas submarinas, entre otros.
- Solo se registran algunos esfuerzos institucionales aislados en materia de desarrollo de tecnología subacuática para el aprovechamiento y protección de los intereses marítimos.



AMENAZA IDENTIFICADA

El artículo 5 de la Ley de Seguridad Nacional (Cámara de Diputados, H. Congreso de la Unión, 2005) define los actos que amenazan la seguridad y soberanía del Estado mexicano. Es importante resaltar que nuestra política exterior y vecindad con la máxima potencia militar del planeta ha influido para que no se considere de manera seria una hipótesis de conflicto bélico con otras naciones Estado; sin embargo, tampoco debe descartarse que los recursos naturales que poseemos en las ZMM deseen ser explotados sin nuestro consentimiento, o peor aún, sin nuestro conocimiento por carecer de la tecnología subacuática para ello.

Con base en lo anterior, la amenaza principal que existe en las Zonas Marinas Mexicanas es la delincuencia organizada transnacional (Juárez, 2014) dedicada al tráfico ilegal de estupefacientes, hidrocarburos, personas, pesca, terrorismo y sabotaje de instalaciones estratégicas. Cabe mencionar que México no tiene registrado actos terroristas en las ZMM, por lo que resulta imperativo mantener y mejorar las condiciones de seguridad de nuestros activos en esas zonas.

ANÁLISIS DE LOS FACTORES OPERACIONALES

Los factores operacionales se refieren al *espacio, tiempo y fuerza*, los cuales deben ser valorados por los tomadores de decisiones y balancearlos contra las amenazas identificadas para alcanzar los objetivos establecidos (Vego, 2007). Los factores de espacio y tiempo pueden ser calculados con exactitud, ya que dependen del conocimiento del área y especificaciones de los medios de transporte disponibles. Por el contrario, el factor de fuerza, propia y enemiga, es muy subjetivo, requiriendo objetividad y sensibilidad para detectar cambios significativos y actuar en consecuencia.

El factor de espacio comprende las ZMM que ocupan el 61.72% de su extensión política. Cuentan con una gran cantidad de especies comercializables y amplias reservas de recursos naturales no renovables en espera de adquirir o contratar la tecnología para su aprovechamiento. Para efectos de control operacional las ZMM se dividen en las Regiones Navales que se muestran a continuación:

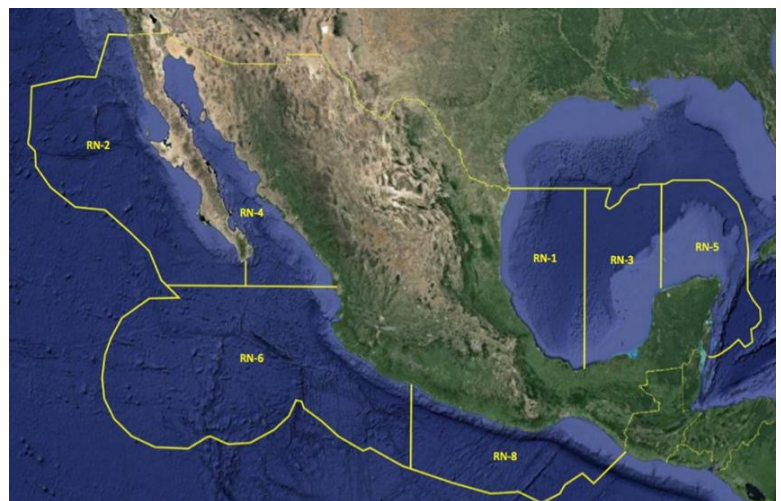


Figura No. 2: Zonas Marinas Mexicanas divididas en Regiones Navales (RN).

La responsabilidad de mantener el estado de derecho en esa jurisdicción recae principalmente en la SEMAR, cuyo factor de fuerza está representado por la Armada de México, con la misión de emplear el poder naval de la federación para la defensa exterior y coadyuvar en la seguridad interior del país (Ley Orgánica de la Armada de México, 2012). La visión de la SEMAR es coadyuvar a lograr las condiciones de paz y desarrollo de la nación, indispensables para la construcción de un país próspero y con responsabilidad global, empleando el poder naval de la federación, fortaleciendo sus capacidades de respuesta operativa, consolidando la inteligencia naval, modernizando procesos, sistemas e infraestructura, impulsando la investigación, desarrollo tecnológico y la industria naval (SEMAR, 2017).



Figura No. 3: Áreas críticas en las Zonas Marinas Mexicanas.
Fuente: Elaboración propia a partir de tendencias actuales.

Dentro del espacio citado se han identificado áreas críticas debido a que contienen instalaciones de extracción y bombeo de hidrocarburos, gran cantidad de recursos naturales y alto valor geoestratégico (figura 3). Destacan los recursos hídricos del estado de Chiapas, ya que diversos analistas coinciden en que los conflictos bélicos futuros serán por el control de tan preciado líquido.

El restante 38.28% del factor de espacio (INEGI, 2017) queda representado por el macizo continental, donde los esfuerzos para coordinar la protección y explotación de los intereses descansa en la Administración Pública Federal, centralizada y descentralizada (Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, 2014).

El análisis del factor tiempo proporciona la estadística necesaria para optimizar el despliegue de las fuerzas en el espacio jurisdiccional asignado, la cual se maneja como reservada para los miembros de las Fuerzas Armadas. Considera también la duración del ciclo de desarrollo de tecnología subacuática capaz de monitorear la explotación de nuestros intereses marítimos y protegerlos mediante una fuerza disuasiva eficaz, la cual se estima en 20 años.



El análisis del factor operacional de fuerza en las ZMM comprende el estudio de los factores críticos existentes. Para acotarlos, se definen los objetivos estratégicos y estado final deseado, identificando fortalezas y debilidades, tanto enemigas como propias. Una asertiva definición de esos factores degrada o destruye la efectividad de sus fortalezas, mediante la explotación de sus debilidades. Se inicia analizando la amenaza enemiga y posteriormente las fuerzas propias.

El objetivo estratégico enemigo es: garantizar el tráfico de estupefacientes, hidrocarburos, armas y personas por vía marítima. Con base a este objetivo, los transgresores de la ley buscan alcanzar el estado final deseado de: ser los principales proveedores de estupefacientes, hidrocarburos e introducción ilegal de personas hacia el norte del continente americano, así como transportar armamento en sentido opuesto.

La siguiente tabla resume los factores críticos enemigos:

FORTALEZAS CRÍTICAS	DEBILIDADES CRÍTICAS
ESTRATÉGICAS:	ESTRATÉGICAS:
<ul style="list-style-type: none"> • Sólida estructura financiera transnacional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Principales líderes identificados. • Rechazo de la sociedad.
OPERACIONALES:	OPERACIONALES:
<ul style="list-style-type: none"> • Redes marítimas de tráfico interconectadas por medios de transporte veloces o sistema de ductos subacuáticos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Escasez de estaciones logísticas marítimas.
TÁCTICAS:	TÁCTICAS:
<ul style="list-style-type: none"> • Amplia experiencia en la operación de los medios de transporte marítimos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Embarcaciones identificables desde el aire. • Indisciplina de sus operadores.

Tabla No. 1. Factores críticos enemigos en las Zonas Marinas Mexicanas.

Fuente: Elaboración propia.

Por el contrario, las Fuerzas Propias quedan representadas por las patrullas oceánicas de la Armada de México con capacidad de desplazarse hasta el límite exterior de las ZMM (200 millas náuticas a partir de la línea de costa). El objetivo estratégico establecido para la SEMAR es «garantizar la Seguridad Nacional» (Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, 2013), el cual se materializa mediante cinco estrategias y 35 líneas de acción que consolidan el estado final deseado, o meta nacional, de lograr un «México en Paz» (Programa Sectorial de Marina 2013-2018, 2013).



Las fortalezas y debilidades de nuestras fuerzas se resumen en la tabla que se muestra a continuación:

FORTALEZAS CRÍTICAS		DEBILIDADES CRÍTICAS	
ESTRATÉGICAS:		ESTRATÉGICAS:	
<ul style="list-style-type: none"> • Sólido respaldo del Estado Mexicano 		<ul style="list-style-type: none"> • Amplia zona jurisdiccional asignada que constituye el 61.72% de la extensión política 	
OPERACIONALES:		OPERACIONALES:	
<ul style="list-style-type: none"> • Doctrina Operacional de la Armada de México • Estructura de Mando y Control 		<ul style="list-style-type: none"> • Medios tecnológicos limitados para la detección de amenazas submarinas 	
TÁCTICAS:		TÁCTICAS:	
<ul style="list-style-type: none"> • Áreas Críticas identificadas y monitoreadas 		<ul style="list-style-type: none"> • Experiencia operativa limitada en el uso de tecnología subacuática 	

Tabla No. 2. Factores críticos propios en las Zonas Marinas Mexicanas.

Fuente: Elaboración propia.

DESARROLLO DE TECNOLOGÍA SUBACUÁTICA POR PARTE DE SEMAR

La Secretaría de Marina ha emprendido un ambicioso programa de modernización de sus unidades de superficie para convertirlas en plataformas multipropósito capaces de enfrentar amenazas en los ámbitos aéreo, de superficie y subacuático. Para ello, la Subsecretaría de Marina coordina los esfuerzos y medios para satisfacer las necesidades tecnológicas identificadas. Cuenta con direcciones generales encargadas del diseño, construcción y mantenimiento de las unidades de superficie, así como los equipos necesarios para mantenerlas operativas.

El órgano técnico para operacionalizar los objetivos institucionales en materia de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) es la Dirección General de Investigación y Desarrollo (DIGINDES), creada en el año 2001. Los esfuerzos se instrumentan mediante recursos presupuestales asignados, o bien, a través de alianzas estratégicas de la Coordinadora de Proyectos Externos (COPE) y el Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Armada de México (INIDETAM) con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), mediante el Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo en Ciencias Navales (FSIDCN).

El FSIDCN publicó en mayo de 2013, una convocatoria para que los Centros de Investigación, Empresas e Instituciones de Educación Superior inscritas en el Registro Nacional de Instituciones y

Empresas Científicas y Tecnológicas (RENIECYT), propusieron el desarrollo de un Sistema de Vigilancia Marítima por Sonar (SIVISO) para ser instalado en las patrullas oceánicas de la Armada de México. La propuesta técnica de INIDETAM resultó con mejores fundamentos y perspectiva a juicio de los evaluadores acreditados al CONACYT, por lo que se le asignaron recursos para su desarrollo. El proyecto SIVISO ha diseñado y construido diferentes prototipos de sonar, así como el primer Laboratorio de Acústica Subacuática Nacional.

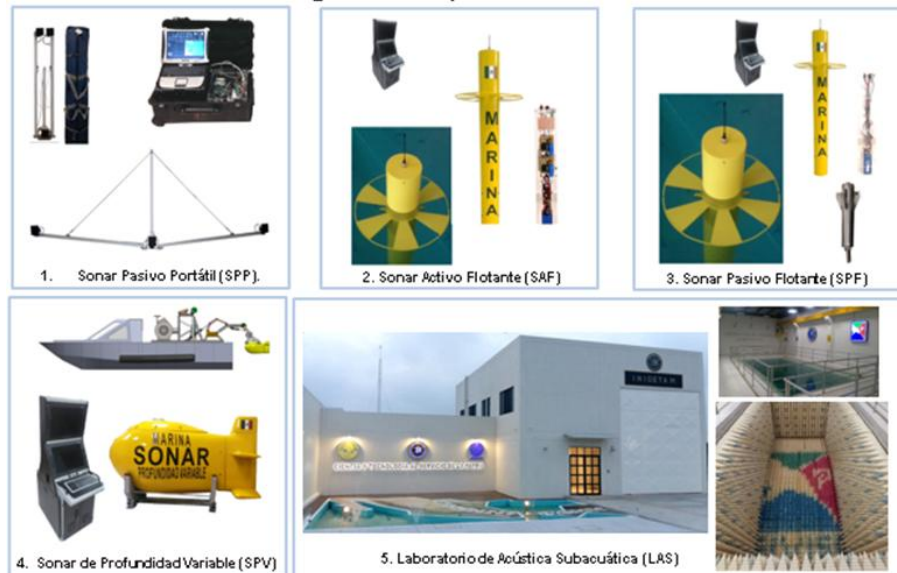


Figura No.4. Tecnología subacuática e infraestructura generada por la SEMAR.

Fuente: Laboratorio de Acústica Subacuática en INIDETAM.

Estos prototipos de sonar son:

- El Sonar Pasivo Portátil diseñado para operar desde una embarcación menor, boya o estructura portuaria, a fin de recopilar la firma acústica que generen los buques a diferentes condiciones de operación, así como otras unidades que naveguen en aguas interiores.
- El Sonar Pasivo Flotante, o *Sonoboya Pasiva*, diseñado para ser lanzado desde la patrulla oceánica a fin de detectar, localizar y seguir blancos de superficie y submarinos que naveguen por encima de la termoclina estacional en una determinada área de interés.
- El Sonar Activo Flotante o *Sonoboya Activa*, diseñado para operar en forma multiestáticas con las Sonoboyas Pasivas, a fin de que los blancos que sean detectados por medios pasivos y que naveguen por encima de la termoclina estacional, sean iluminados por rayos acústicos que apoyen en la determinación de distancias y triangulen su localización.



- El Sonar Profundidad variable diseñado para ser remolcado por la patrulla oceánica a fin de detectar, localizar y seguir blancos submarinos que naveguen por debajo de la termoclina estacional.
- Finalmente, el Laboratorio de Acústica Subacuática constituye una plataforma desde la cual se impulsan nuevas líneas de investigación y desarrollo tecnológico. Cuenta con un tanque hidroacústico de pruebas y calibración de transductores, así como los espacios mínimos necesarios para que interactúen las áreas de acústica, mecánica, electrónica y procesamiento de señales enfocadas al desarrollo de tecnología submarina.

Para agilizar el acoplamiento a la patrulla oceánica, de los sensores subacuáticos desarrollados, se diseñó un contenedor en forma de patrulla interceptora embarcada, el cual está siendo construido en los astilleros de Marina.

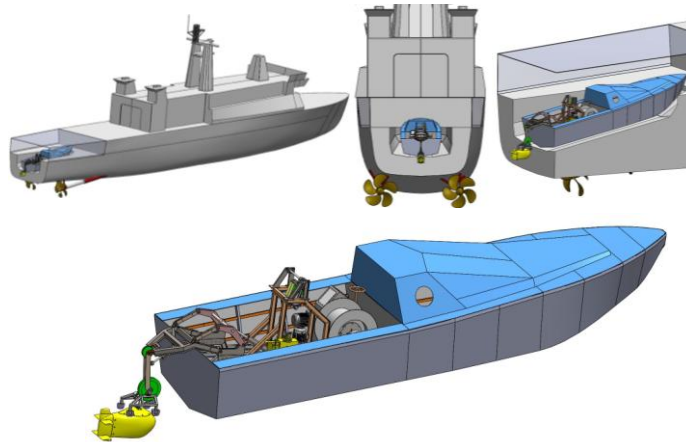


Figura No.5. Integración de los sensores desarrollados a bordo de las Patrullas Oceánicas de SEMAR.

Fuente: Laboratorio de Acústica Subacuática en INIDETAM.

Los conocimientos adquiridos por el equipo de desarrollo de la SEMAR e infraestructura generada pueden ser ampliamente explotados mediante la coordinación con otras dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, tales como Instituciones de Educación Superior (IES), empresas, institutos y centros públicos de investigación cuyo espacio de aplicación sean las Zonas Marinas Mexicanas (Ley Orgánica de la Armada de México, 2012).

PROSPECTIVA DE SEMAR EN MATERIA DE TECNOLOGÍA SUBACUÁTICA

Con base en la experiencia adquirida y resultados alcanzados por la SEMAR a partir del año 2014, ha crecido la confianza para explorar nuevas líneas de desarrollo que satisfagan las necesidades



tecnológicas de las unidades operativas y las nuevas responsabilidades en materia de seguridad portuaria, tales como:

Plataforma de Referencia y Desarrollo de Sistemas de Sonar (PRESONAR):

Con el desarrollo del PRESONAR se reforzarán las capacidades de entrenamiento y optimizará el empleo de los sensores subacuáticos, a fin de proteger nuestros intereses marítimos en las Zonas Marinas Mexicanas. Consiste de consolas de entrenamiento para Oficiales de Guerra Antisubmarina (GAS) y operadores de sonar. El desarrollo contempla alcanzar lo siguiente:

- Modelos matemáticos predictivos de la propagación de energía acústica subacuática, en función de: tipo de sensor, modo de operación, potencia, características de los pulsos, posición relativa de las fuentes emisora/receptora y perfil de la velocidad del sonido en el medio oceánico.
- Emulador de señales de sonar que emplee transductores en arreglos lineales y cilíndricos, tomando en consideración las variables de: frecuencia central, ancho de banda, ancho de pulso, tiempo de integración, forma de onda y frecuencia de repetición de pulsos.
- Simulador de Sonar de Profundidad Variable, Casco, Sopado (dipping sonar) y sonoboyas para entrenamiento de los operadores de sonar.
- Consolas de operación capaces de desplegar las zonas probables de detección de blancos en virtud de las condiciones oceanográficas, lecho marino, posición de los sensores, modo y parámetros de operación del sonar establecidos.
- Bases de datos de condiciones oceanográficas: ruido espectral por fauna marina, tráfico marítimo, estado de la mar, lluvia y actividades subacuáticas; firmas acústicas de unidades de superficie y submarinas; así como escenarios de operación donde puedan ser emuladas cada una de las consideraciones técnicas de los sonares de cualquier tipo, tales como casco, remolcados, sonoboyas y de sopado.

Sistema de Protección Subacuática Portuario (SIPROSP):

Con el desarrollo del Sistema de Protección Subacuática Portuario se busca preservar la seguridad y optimizar la explotación comercial de nuestros puertos e instalaciones estratégicas localizadas en la zona jurisdiccional asignada a la Secretaría de Marina.



El SIPROSP está diseñado para su instalación en las entradas de los principales puertos nacionales, tanto de altura como de cabotaje; instalaciones estratégicas fuera de costa y aquellas comunicadas con las Zonas Marinas Mexicanas, tal como la nucleoelectrónica de Laguna Verde.

La arquitectura básica comprende arreglos lineales de hidrófonos posicionados en el lecho marino, transversalmente al canal de acceso o en un perímetro circular, para detectar las firmas acústicas de todas aquellas embarcaciones menores, buques y submarinos navegando en las inmediaciones. Contempla arreglos pasivos para detectar la presencia de buzos, así como arreglos activos para advertirlos y prevenir cualquier intento de intrusión no autorizada a las instalaciones portuarias.

El sistema cuenta con una red de fibra óptica subacuática para recolectar las señales captadas por los hidrófonos hasta los centros de procesamiento, recolección y despliegue de la información detectada, así como una red de mando para transmitir las ordenes, tanto a los transductores activos, como a la fuerza de reacción encargada de preservar la seguridad de la instalación.

El SIPROSP proveerá de unidades de procesamiento de señales, interfaces gráficas amigables para el operador y capacidad de registro de la actividad diaria en una base de datos. La información recolectada alimentará el Sistema de Mando y Control de la Armada de México que intercambia datos tácticos con unidades operativas, Mandos Navales, así como el Centro de Mando y Control del Estado Mayor General de la Armada.

Sistema de Detección Subacuática para Patrullas Oceánicas (SIDESPO):

La producción de Sistemas SIDESPO reducirá considerablemente los costos de adquisición y mantenimiento de sensores subacuáticos para las unidades de superficie de la Armada de México, mientras se generan fuentes de trabajo y fortalece la protección a los intereses marítimos nacionales.

Este desarrollo incluye las mejoras identificadas para convertir los prototipos de sensores subacuáticos en productos confiables y optimizados con base en la experiencia técnica y operativa adquirida.

La propuesta dotará de sonares activos y pasivos de profundidad variable a las patrullas oceánicas de la Armada de México con la finalidad de fortalecer la explotación y protección de los intereses marítimos en las ZMM.

El desarrollo incluye la construcción de infraestructura para replicar los sistemas de sonar de profundidad variable, sonoboyas pasivas y activas, fortaleciendo la industria nacional enfocada al desarrollo de sensores subacuáticos.



Vehículo Subacuático No Tripulado (VESUNT):

Como se citó anteriormente, la Secretaría de Marina impulsa un ambicioso programa para construir buques multipropósito con capacidades de respuesta en los ámbitos aéreo, de superficie y submarino. Sin embargo, actualmente no cuenta con plataformas subacuáticas nacionales que apoyen las siguientes tareas:

Monitorear las actividades de extracción de hidrocarburos para conocer las condiciones de seguridad en que se realizan, así como corroborar la ubicación de las redes de trasiego, almacenamiento y distribución de los recursos petrolíferos extraídos en nuestras aguas someras y profundas. La solución óptima para materializar las actividades citadas, mientras se opera en ambientes peligrosos, es el desarrollo de vehículos subacuáticos no tripulados (VESUNT). Estas plataformas cuentan con una estación de control marina para monitorear su estado de operación, transmisión de órdenes y procesamiento de la información recolectada durante su misión, a través de un sistema de comunicación subacuática. Los vehículos subacuáticos serán dotados con arreglos de sensores que apoyen la navegación segura plataforma y posibiliten la detección de blancos por debajo de la termoclina estacional.

Además de las funciones de apoyo al entrenamiento y monitoreo de las actividades de extracción de hidrocarburos, se requiere que recolecten información de las condiciones oceanográficas y lecho marino, así como video de alta definición que muestre las condiciones actuales que guardan las obras portuarias, amarres, tuberías, válvulas, uniones, plataformas y cascos sumergidos, entre otros.

El desarrollo de plataformas submarinas es un primer paso para escalarlas a un desplazamiento mayor, con oportunidades de mejora en los medios de propulsión y guiado para neutralizar amenazas a los intereses marítimos de nuestro país.

Sonares de Sopado para Patrullas Interceptoras (SOSPI):

Con el desarrollo del SOSPI la SEMAR reforzará sus capacidades de detección subacuática mientras se reducen los costos de adquisición, mantenimiento y dependencia tecnológica del exterior.

El empleo táctico de este tipo de dispositivos es para relocalizar aquellos blancos, que, habiendo sido detectados por los sensores subacuáticos del buque, hayan realizado maniobras evasivas para dejar de ser contactos, así como para buscar, detectar e identificar blancos submarinos en una determinada área por donde navegarán buques mercantes o de gran desplazamiento.



Este tipo de sonares opera desde helicópteros o embarcaciones lanzadas desde buques de patrulla oceánica con capacidad de desplazarse a grandes velocidades hasta la última posición conocida del blanco (*dátum*) y desde ahí iniciar su relocalización. Existen serias restricciones de los fabricantes de helicópteros para la instalación de sistemas que interfieran con el desempeño de la aeronave, sin embargo, a bordo de unidades de superficie, de fabricación propia, no existen tales limitantes.

Cabe mencionar que todos estos instrumentos y sensores de detección subacuática que se pretenden desarrollar son asequibles en el mercado internacional con elevados costos de adquisición y mantenimiento, por lo que lograr su producción nacional representa una reducción de la dependencia tecnológica del exterior.

POTENCIALES DESARROLLADORES Y USUARIOS DE TECNOLOGÍA SUBACUÁTICA

Los actores que actualmente han alcanzado un nivel determinante en el desarrollo y empleo de tecnología subacuática a nivel nacional se describen a continuación:

En primer lugar, se posiciona el CONACYT quien apoya el desarrollo de proyectos de manera directa o a través de la participación de los estados e instituciones mediante los fondos mixtos y sectoriales, respectivamente. A partir del 2014, ha puesto en marcha un «Programa Nacional de Apoyo al Fortalecimiento y Desarrollo de Infraestructura Científica y Tecnológica» para todos los entes que se encuentren activos en el RENIECYT. El 4 de abril de 2017, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) y el CONACYT presentaron el Estímulo Fiscal a la Investigación y Desarrollo de Tecnología (EFIDT) con el objetivo de incrementar la inversión privada en ciencia y tecnología en México. Durante la ceremonia de presentación, el doctor Enrique Cabrero Mendoza, director general del CONACYT puntualizó que «economías emergentes, representadas por Corea del Sur, Irlanda o Finlandia —que han tenido mayor desarrollo económico y tecnológico en los últimos años—, lo han logrado gracias a una importante y creciente inversión privada en el sector científico y tecnológico. Dicha inversión en esos países se ha dado, en gran medida, a partir de estímulos fiscales; por ejemplo, en Corea del Sur, 57% de los apoyos a las empresas para que inviertan en ciencia o tecnología es justamente a través de ese mecanismo» (Sánchez, 2017).

Otro activo importante en el desarrollo de tecnología subacuática es la Secretaría de Energía (SENER), quien se encarga de conducir la política energética del país (Secretaría de Energía, 2017), en virtud de que la reforma energética implementada otorgó autonomía presupuestal, gestión y asociación con el sector privado a Petróleos Mexicanos (PEMEX) y a la Comisión Federal de Electricidad (CFE),



estableciendo el Fondo Mexicano del Petróleo (FMP) quien se encarga de administrar los ingresos obtenidos por contratos y asignación de actividades de exploración y extracción de petróleo.

La Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) y la Comisión Reguladora de Energía (CRE) fueron dotadas de independencia técnica y de administración para regular la participación de las empresas públicas y privadas. Además, para supervisar la seguridad industrial y prevenir daños al ecosistema, se creó la Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA). La SENER elaboró el Plan Quinquenal de Licitaciones para la Exploración y Extracción de Hidrocarburos 2015-2019, con el objeto de consolidar el desarrollo de la industria de exploración y extracción de hidrocarburos, privilegiando aquellas áreas que contienen campos de extracción.

Las superficies estimadas de explotación se localizan tanto en tierra, como en las ZMM (Secretaría de Energía, 2015) las cuales se detallan e ilustran a continuación: aguas profundas (1,000 km²), pintadas en azul oscuro; aguas someras (400 km²), pintadas en azul claro; terrestres no convencionales (Lutitas y Chicontepec con 300 kilómetros cuadrados), pintadas en café claro y terrestres convencionales (200 km²), pintadas en café oscuro.

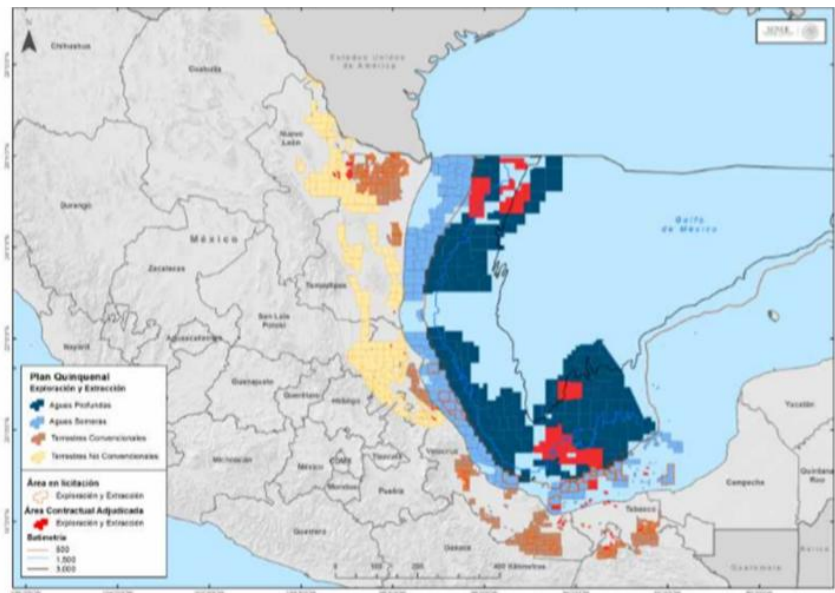


Figura No. 6: Áreas factibles de exploración y extracción de hidrocarburos en las ZMM. Fuente: Secretaría de Energía (SENER).

Para reforzar las acciones implementadas por la SENER, en febrero de 2015 se puso la primera piedra del Centro de Tecnologías en Aguas Profundas (CTAP), ubicado en San José Novillero del municipio de Boca del Río, Veracruz. Su finalidad es calificar y generar las tecnologías para el diseño, desarrollo y operación de campos en aguas profundas y ultra profundas, a través de recursos humanos calificados y orientado hacia la eficiencia y oportunidad. En la primera fase del CTAP se implementarán cinco



laboratorios con una inversión inicial de 1800 millones de pesos, de los cuales el Fondo de Hidrocarburos contribuye con 1300 millones de pesos. La obra civil provendrá del Fondo Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) para la Investigación y el Desarrollo Tecnológico.

El equipamiento de laboratorio será con recursos provenientes del Fondo Sectorial CONACYT-SENER-Hidrocarburos, quien además financiará su operación inicial mediante proyectos evaluados por un grupo de expertos y cuya ejecución se dará en colaboración con otras instituciones y alianzas tecnológicas con terceros. El director general del IMP, Ernesto Ríos Patrón, estima una inversión superior a los 200 millones de dólares para el CTAP por un periodo de tres años (Petroquimex, 2016). La inversión realizada por la SENER puede ser complementada con las fortalezas de otras instituciones.

Cabe destacar el papel relevante de la empresa Petróleos Mexicanos (PEMEX), quien sostuvo por muchos años la economía del país mediante la venta de hidrocarburos, aunque haya pasado de ser la tercera potencia productora de petróleo en el 2004, a la octava en 2015 (Petróleos Mexicanos, 2017). El reto que enfrenta es reemplazar la caída de producción de Cantarell, estabilizar la producción y eventualmente incrementar la plataforma de manera rentable, segura y sustentable, a través de alianzas y concentrándose en asignaciones rentables. Las estrategias y líneas de acción se definen en su Plan de Negocios 2017–2021.

El brazo tecnológico de PEMEX es el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), quien cuenta con una planta de investigadores calificados factibles de orientar sus esfuerzos al desarrollo de tecnología subacuática que eficiente las tareas de exploración del lecho marino y monitoreo de la explotación extranjera. El pasado 3 de marzo de 2017, PEMEX y la empresa australiana *BHP Billiton* firmaron el primer contrato de asociación (*farm out*) por 11 mil millones de dólares y un plazo de 50 años para explorar y extraer, en forma conjunta, los hidrocarburos localizados en las aguas profundas del Golfo de México (Revista Proceso, 2017). Al acto protocolario acudió el presidente Enrique Peña Nieto, como testigo de honor y anfitrión. Con base en los acontecimientos, es posible percibir que los alcances de las reformas estructurales en materia energética están en marcha, por lo que México requiere contar con la tecnología subacuática que vele por los intereses marítimos.

Otro ente relevante en el desarrollo de tecnología submarina, surgido a partir del 2015, es el Consorcio de Investigación del Golfo de México (CIGOM). El CIGOM es una agrupación de instituciones de investigación mexicanas que desarrollan un megaproyecto de colaboración interinstitucional financiado por el Fondo Sectorial CONACYT-SENER-Hidrocarburos, para el desarrollo de estudios oceanográficos que generen escenarios ante posibles contingencias relacionadas con la exploración y producción de hidrocarburos en el Golfo de México (Navarro, 2017). Es liderado por el doctor en ciencias Juan Carlos



Herguera García, responsable técnico del CIGOM y especialista del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Citado investigador menciona que la actual prioridad es el desarrollo de herramientas de observación en el mar, así como la realización de las campañas oceanográficas, trabajos de campo y análisis en los laboratorios para establecer la línea base. El CIGOM cuenta con un presupuesto global de poco más de 1,500 millones de pesos distribuidos en cinco años y en tres etapas. Cabe mencionar que la SEMAR está realizando las gestiones necesarias para conocer su infraestructura, así como las líneas de investigación y desarrollo donde sea factible intercambiar experiencias que agilicen el desarrollo de la tecnología subacuática nacional.

Continuando el listado de los actores estratégicos en el desarrollo y empleo de tecnología subacuática se encuentra la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), quien para coordinar acciones de la sociedad y autoridades en las Zonas Marinas Mexicanas elabora un documento público denominado Carta Nacional Pesquera (SAGARPA, 2012). Citado trabajo incluye información, cartográfica y escrita, para el diagnóstico y evaluación integral de la actividad pesquera. Su objetivo es proporcionar los instrumentos que propicien el aprovechamiento sustentable de los recursos marinos y fortalezcan la comercialización de los productos y subproductos obtenidos del mismo medio.

De acuerdo al artículo 33 de la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables (LGPAS), la Carta Nacional Pesquera contiene: El inventario de los recursos pesqueros, en aguas de jurisdicción federal, susceptibles de aprovechamiento; el esfuerzo pesquero susceptible de aplicarse por especie o grupo de especies en un área determinada; los lineamientos, estrategias y demás previsiones para la conservación, protección, restauración y aprovechamiento de los recursos pesqueros, para la realización de actividades productivas y demás obras o actividades que puedan afectar los ecosistemas respectivos, las artes y métodos de pesca; las normas aplicables en materia de preservación, protección, aprovechamiento de los recursos pesqueros, incluyendo las relativas a la sanidad, calidad e inocuidad de los productos pesqueros, así como la demás información que determine el reglamento de la presente ley.

El cumplimiento de estas actividades requiere el empleo de tecnología subacuática a fin de optimizar tanto las acciones de monitoreo, como las de búsqueda y captura de especies en beneficio de la sociedad mexicana.

Para concluir la participación de los actores estratégicos en el desarrollo y empleo de la tecnología submarina, es importante destacar la ausencia de la flota mercante nacional. Esta situación continua como tema relevante para la Academia de Ingeniería AC. y las soluciones planteadas se presentan en



el compendio elaborado (Academia de Ingeniería de México AC., 2011). La información presentada se resume en la figura 7, a continuación:

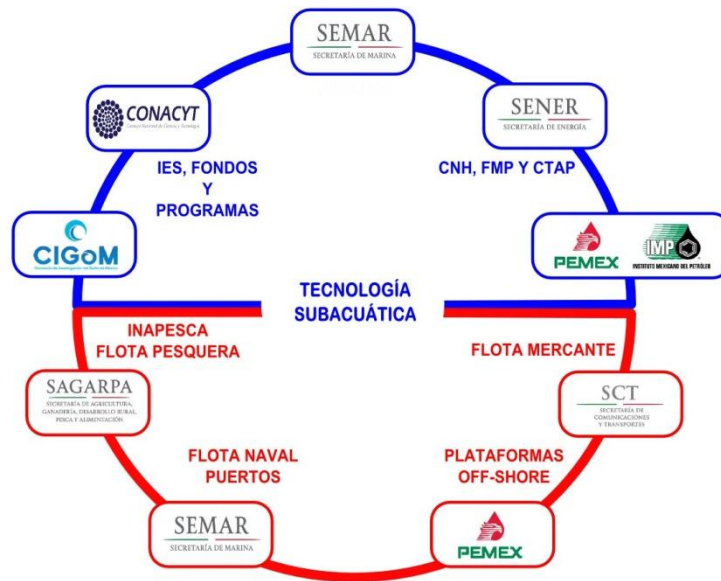


Figura No. 7: Desarrolladores (azul) y usuarios (rojo) nacionales de la tecnología subacuática.

Fuente: Elaboración propia.

REFLEXIONES FINALES

Las naciones con alto índice de desarrollo requieren un flujo constante de materia prima para mantener su hegemonía, lo cual aseguran mediante su poder bélico. Los hechos indican que los conflictos pasados, actuales y sin duda los futuros, son por el control de los recursos estratégicos, donde el petróleo resulta ser el más apreciado por el momento.

El mantenimiento de la superioridad mundial en ámbitos de esta índole implica negar, aunque sea en forma velada, ayuda significativa para que otras naciones desarrollen los medios tecnológicos requeridos. El estratega norteamericano, Alfred Mahan, consideraba que una clase dirigente desconocedora de las tendencias mundiales y que carece de una formación geopolítica, no favorece la generación del poder naval, por lo que solo aquellas naciones con visión de futuro tendrán éxito, de esta forma «quien domine los mares vencerá siempre»(Pedraza, 2013).

Por su parte, los países en desarrollo como México, actúan como proveedores de materia prima, limitando los esfuerzos en investigación y desarrollo que posibiliten una independencia en la explotación y protección de sus intereses. Hasta el día de este escrito, en México se carece de la tecnología subacuática adecuada para velar por los recursos localizados en los mares mexicanos.



Con base en la situación existente, es impostergable conjuntar esfuerzos y eficientar el aprovechamiento de los recursos remanentes. El desarrollo de tecnología subacuática nacional es un instrumento que aporta las siguientes ventajas: disminución de la dependencia externa; generación de fuentes de trabajo; especialización de capital humano; interacción de la academia con la industria; monitoreo de las actividades de extracción que realizan las empresas extranjeras; así como optimización de las operaciones navales para preservar la soberanía y protección de los intereses marítimos.

Las acciones coordinadas de desarrolladores y usuarios de la tecnología subacuática contemplan que las instituciones de educación superior produzcan los recursos humanos en la cantidad y calidad adecuada para orientarlos hacia los intereses marítimos. El CONACYT continúa apoyando mediante becas de estudio, financiamiento de proyectos y fortalecimiento de la infraestructura en los laboratorios; por lo que una vez que se generen estudios y proyectos rentables, la industria mexicana concretará los pasos necesarios para satisfacer las necesidades nacionales, tales como la modernización de la flota naval, equipamiento de la flota pesquera, producción de equipos y sistemas, así como reactivación de la marina mercante, entre otros.

El actor de mayor peso económico es la Secretaría de Energía quien dirige y coordina las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos en las aguas del Golfo de México. Su liderazgo estratégico tiene sólidas bases para forjar las alianzas que impulsen el desarrollo de tecnología subacuática bajo una visión talasopolítica. De esta manera, el esfuerzo de SEMAR para lograr prototipos de sonar y construir el primer Laboratorio de Acústica Subacuática, puede ser enriquecido con la participación conjunta de los actores mencionados a fin de enfrentar nuestras debilidades en éste sector y convertirlas en oportunidades para beneficio de la sociedad mexicana.



BIBLIOGRAFÍA

- Academia de Ingeniería de México A.C. (2011). *Intereses Marítimos de México-Integración para su desarrollo*. Boca del Rio Ver. AIM A.C.
- Cámara de Diputados-H. Congreso de la Unión. (2005). *Ley de Seguridad Nacional*. México DF: DOF.
- Centro de Estudios Superiores Navales. (2003). *Poder Marítimo Mexicano*. México DF: CESNAV.
- Dugin, A. (2017). *Geopolítica del mundo multipolar*. Tarragona España: Ediciones Fides.
- INEGI. (31 de Marzo de 2017). Cuentame.inegi.org.mx. Obtenido de <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/extension/default.aspx?tema=T>
- Juárez, C. F. (2014). *Tesis DEM: Propuesta de empleo operacional de Sistemas Aéreos No Tripulados en las Zonas Marinas Mexicanas*. México DF: Centro de Estudios Superiores Navales.
- Ley Federal del Mar. (1986). *LFM*. México DF: Cámara de Diputados-H. Congreso de la Unión.
- Ley Orgánica de la Administración Pública Federal. (2014). *LOAPF*. México DF: Cámara de Diputados H. Congreso de la Unión.
- Ley Orgánica de la Armada de México. (2012). *LOAM*. México DF: Cámara de Diputados H. Congreso de la Unión.
- Li, Q. (2012). *Digital sonar design in underwater acoustics*. Springer: Zhejian University Press.
- OCDE. (2015). *Estudio economico de la OCDE México*. Ciudad de México: OCDE.
- Navarro, K. (2017). *CIGOM: Logros y desafíos tras dos años de investigación en el Golfo de México*. Agencia Informativa CONACYT, 1-5.
- Pedraza, L. D. (2013). Talasopolítica: El aislacionismo marítimo de América Latina. . *Talasopolítica en América Latina: Situación histórica, oportunidades y perspectivas*. (págs. 1-2). Ciudad de México: UNAM.
- Petroleos Mexicanos. (2017). *Plan de Negocios 2017-2021*. Ciudad de México: PEMEX.
- Petroquimex. (2016). *Prevé IMP Apertura del Centro de Tecnología en Aguas Profundas para Fin de Año*. PetroQuiMex, Edición 82.
- Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. (2013). *PND*. México DF: Poder Ejecutivo Federal.
- Programa Sectorial de Marina 2013-2018. (2013). *PSM*. México DF: Secretaría de Marina-Armada de México.
- Revista Proceso. (28 de Marzo de 2017). Proceso.com.mx. Obtenido de <http://www.proceso.com.mx/476670/pemex-bhp-billiton-firman-alianza-aguas-profundas-historico-afirma-gonzalez-anaya>
- SAGARPA. (2012). *Carta Nacional Pesquera*. México DF: Diario Oficial de la Federación.



Secretaría de Energía. (2015). *Plan quinquenal de licitaciones para la exploración y extracción de hidrocarburos 2015-2019*. Ciudad de Mexico: SENER.

Secretaría de Energía. (28 de Marzo de 2017). [gob.mx/sener/que-hacemos](https://www.gob.mx/sener/que-hacemos). Obtenido de <https://www.gob.mx/sener/que-hacemos>

Semar. (04 de 03 de 2017). www.gob.mx. Obtenido de Semar: www.gob.mx/semar/que-hacemos

Vego, M. (2007). *Joint Operational Warfare: Theory and practice*. Annapolis MD: Joint Military Operations US Naval War College.

Amable lector para atender sus dudas, comentarios o sugerencias del presente texto siga el siguiente link <http://www.cesnav.edu.mx/ININVESTAM/contacto.html>