

Acústica subacuática: Un breve panorama histórico a través de la Segunda Guerra Mundial

Thomas G. Muir

Universidad de Texas en Austin, Texas
tom.muir@arlut.utexas.edu

David L. Bradley

Laboratorio de Investigación Aplicada
Pennsylvania State University, State College, Pennsylvania
dlb25@psu.edu

RESUMEN

Este artículo presentan algunos de los aspectos más sobresalientes de la investigación y desarrollo de la acústica subacuática, así como reconoce el mérito de miembros de la Sociedad Americana de Acústica (Acoustics Society of America, ASA), quienes contribuyeron con su trabajo durante el período de la Segunda Guerra Mundial. Los resultados de tal trabajo se convirtieron en logros científicos y de ingeniería que aparecen en literatura sobre acústica.

PALABRAS CLAVE

Sociedad Americana de Acústica, sonar, detección submarina.

ABSTRACT

This paper presents some of the highlights about research and development of sub-aquatic acoustics, as well as it gives recognition to the members of the Acoustical Society of America (ASA), who contributed with their work along the Second World War. The results of such work have turned into scientific and engineering achievements, which are published in literature about acoustics.

KEYWORDS

Acoustic Society of America, sonar, submarine detection.

ANTECEDENTES

El hombre ha estado interesado en el sonido en el océano por curiosidad intelectual, así como por la necesidad, en respuesta a amenazas, tales como riesgos de navegación, catástrofes y eventos mundiales, incluyendo naufragios y muchas otros asociados con la guerra naval. A principios del siglo XX, varios inventores abordaron el problema de los peligros de la navegación, lo que llevó al uso de campanas submarinas para crear señales de alerta. La guerra naval y las amenazas que plantea han sido la mayor motivación para la acústica submarina, comenzando con la Primera Guerra Mundial (WWI) y alcanzando avances notables durante y después de la Segunda Guerra Mundial (WWII). Estos esfuerzos dieron lugar a descubrimientos básicos en oceanografía y ciencias acústicas e ingeniería, incluida la exploración por sonar y geofísica.

La historia de la acústica subacuática durante la primera mitad del siglo XX incluye muchísimos logros a través de dos guerras mundiales. Se trata de un tema muy voluminoso y amplio, por lo cual sólo se puede hacer un breve esbozo de lo más relevante. El material cubierto se deriva en gran medida de tres sesiones especiales sobre el tema, presididas por los autores en la 169th reunión de la Sociedad Acústica de América (ASA) celebrada en Pittsburgh, PA.¹ Los autores dan el más amplio crédito para sus ponentes: Thomas Howarth, Michael Pistorius, Karim Sabra, Frederick Erskine, Michael Buckingham, William Kuperman, James Lynch, Arthur Newhall, y David Feit, así como otros que discutieron temas después de la Segunda Guerra Mundial. La cobertura se limita al desarrollo acústico subacuático en los Estados Unidos y sus aliados, Francia y el Reino Unido. La historia del tema en la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) ha sido bien abordada en otras referencias.²

LOS PRIMEROS ESFUERZOS DEL SIGLO XX Y LOS PIONEROS DE LA ACÚSTICA SUBACUÁTICA

La ASA otorga una medalla de plata en honor de cinco pioneros de la acústica subacuática: H. J. W. Fay, Reginald A. Fessenden, G. W. Pierce, Paul Langevin y Harvey C. Hayes (figura 1). A continuación se presentan algunas de las contribuciones de estos pioneros.



Fig. 1. Medalla “Pioneros de la Acústica Subacuática” *Pioneers in Underwater Acoustics Medal de la Acoustics Society of America* (Sociedad Acústica de América, ASA).

Harold J. W. Fay estuvo asociado durante mucho tiempo con la *Submarine Signal Company* (SSC), que fue fundada en 1901 para desarrollar productos comerciales en señalización submarina pertinentes para la navegación de buques para evitar riesgos. Fay se convirtió en presidente de la SSC en 1942 y la dirigió a través de su fusión con la Compañía Raytheon en 1946. Hizo avances creativos, incluyendo un sistema por el cual dos hidrófonos de botón de carbono en “baúles marinos” llenos de agua, uno a cada lado del buque, podría ser utilizado para dirigir el barco hacia una campana.^{3,4,5} Se le atribuye el liderazgo en acústica subacuática durante casi 50 años.

Reginald Fessenden se unió a la SSC como consultor unos meses después de la pérdida del Titanic en abril de 1912.⁶ En la SSC comenzó el desarrollo

del sonar activo con un dispositivo llamado oscilador Fessenden.^{7,8,5} Aunque era un transductor y no un oscilador, utilizaba una placa vibratoria expuesta por un lado al agua de mar y funcionaba por un voltaje aplicado a una bobina electromagnética que se movía en un campo magnético inducido (como un altavoz moderno). Esto creó señales acústicas submarinas en forma de estallidos de tono, y también recibió ecos. Los ensayos marinos comenzaron en 1914, demostrando las comunicaciones submarinas y la detección de iceberg. Los experimentos de detección de submarinos se realizaron en 1917, y la Marina de los Estados Unidos comenzó a instalar osciladores Fessenden para la comunicación en los submarinos nuevos en 1918. Los sonómetros comerciales de Fessenden se empezaron a utilizar en 1924.

Los esfuerzos de **George Washington Pierce** en electrónica apoyaron en gran medida los avances en acústica subacuática. Pierce sirvió en la Estación Experimental Naval en New London, CT, durante la Primera Guerra Mundial y desarrolló circuitos de sonar, incluyendo “compensadores” de retardo de fase, para permitir a un oyente binaural determinar la dirección a partir de una señal de dos o más sensores externos en su propia nave. Más tarde, aprovechó la tecnología de bulbos de vacío y desarrolló muchas ideas rentables, incluyendo el famoso oscilador Pierce, que sigue siendo importante en la actualidad. También fue un pionero en transductores magnetorestrictivos. Estos dispositivos utilizan el sonido generado por la expansión y contracción de ciertos metales cuando están expuestos a campos electromagnéticos alternantes, un proceso que también permite la recepción de señales.⁹

El comienzo del siglo XX fue una época de grandes avances en las ciencias físicas, incluyendo el desarrollo de la relatividad y descubrimientos revolucionarios en la física atómica. El gran físico francés **Paul Langevin** estaba en el centro de estos emocionantes acontecimientos. Su profesor (Pierre Curie) había codescubierto la piezoelectricidad, la cual consiste en la capacidad de ciertos cristales, como el cuarzo, para expandirse y contraerse en un campo eléctrico y generar una carga eléctrica cuando se les excita acústicamente. La Primera Guerra Mundial motivó a Langevin a utilizar este efecto para desarrollar un sonar ultrasónico. Los cristales de cuarzo, cargados en ambos lados para reducir sus frecuencias de resonancia, se usaron para desarrollar sonares de haz estrecho de alta resolución. La guerra terminó antes de que se vieran en servicio, pero Langevin fue capaz de demostrar el rango del eco ultrasónico para detección submarina y búsqueda de profundidad.^{10,11,12}

Harvey Hayes fue el primer Director de la Estación de Torpedos de la Marina de los Estados Unidos en New London, CT, durante la Primera Guerra Mundial. Se convirtió en el primer Superintendente de la División de Acústica del Laboratorio de Investigación Naval (NRL) en Washington, DC, en su fundación en 1923. Durante los siguientes 25 años, supervisó una gran variedad de proyectos de investigación de referencia, estableciendo esta organización como un líder mundial en sonido submarino. Este exitoso laboratorio se convirtió en un modelo para el desarrollo de subsiguientes laboratorios de acústica subacuática en todo el mundo. Hayes también fue el primer galardonado con la Medalla “Pioneros de la Acústica Subacuática” *Pioneers in Underwater Acoustics Medal* de la ASA en 1959.¹³

PRIMERA GUERRA MUNDIAL

Al comienzo de la Primera Guerra Mundial los aliados estaban mal preparados para la guerra antisubmarina (ASW), con desarrollos simples de manera que desplegaron sistemas primitivos. Algunos ejemplos son el uso del micrófono de gránulos de carbono de Thomas Edison en un diseño impermeable, que fue desplegado en una columna vertical y utilizado por los barcos de pesca británicos en el esfuerzo de guerra;¹⁴ (figura 2). El hidrófono resultante quedó desorientado frente a la excitación retrodispersada, y su directividad “cardioide” se utilizó para detectar más o menos la presencia y dirección de un objetivo contra el ruido. Este dispositivo dio paso a otra solución rápida consistente en un sistema neumático binaural simple. Utilizaba bombillas de goma en cada extremo de una columna vertical orientable, con tubos sónicos introducidos en el submarino o buque a un estetoscopio, lo que permitía a un operador entrenado escudriñar el azimut horizontal para detectar objetivos de radiación acústica en la banda de 500 a 1,500 Hz.¹⁵ Sistemas de escucha pasivos como estos fueron los principales sistemas desplegados por los aliados. La investigación del sonar por Langevin y otros fue exitosa pero no produjo sistemas de flota antes del final de la guerra.

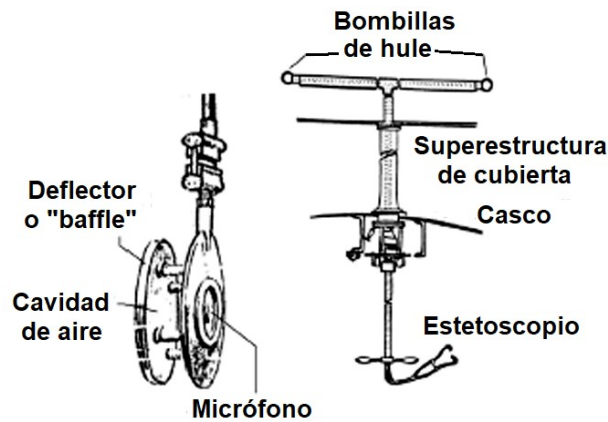


Fig. 2. Botón de carbono de la Primera Guerra Mundial e hidrófonos neumáticos.

Durante la Primera Guerra Mundial se iniciaron varios acontecimientos decisivos en la investigación de la acústica subacuática. La Marina de los Estados Unidos dependía en gran medida de SSC hasta que Estados Unidos entró en la guerra en 1917, y esto cambió rápidamente con el establecimiento de la Estación Experimental Naval en New London, CT, para el desarrollo tecnológico.¹⁴ Esto marca una tendencia hacia la creación y la confianza en los laboratorios de la Marina para la investigación independiente, desarrollo y asesoramiento independiente del motivo de la ganancia.

La participación británica en la Primera Guerra Mundial fue mucho mayor que la de los Estados Unidos. Un joven **Albert Beaumont Wood** (figura 3) había entrado en acústica submarina en 1915. Él y Robert W. Boyle trabajaron con Langevin en Francia, pero desarrollaron sus propias ideas de transductores de piezocuarzo para sus primeros sonares, que se llamaban “asdic” en el Reino Unido, una palabra en código que significaba “antisubmarine-division-ics”, con los “ics” al final en física. Al inicio de la Segunda Guerra Mundial, Wood fue galardonado con la Orden del Imperio Británico en reconocimiento a su trabajo en el desmantelamiento de una mina magnética enemiga. A. B. Wood se convirtió

en una figura internacional en acústica subacuática, haciendo investigaciones innovadoras, sirviendo como Superintendente Adjunto del *Admiralty Research Laboratory*, y escribiendo un libro de acústica clásica.¹⁶ Fue galardonado con la Medalla “Pioneros de la Acústica Subacuática” en 1961. Una medalla del Instituto Británico de Acústica por los logros de los investigadores jóvenes se nombra en su honor y se da a los norteamericanos en años alternos. Sus logros profesionales y relatos interesantes de sus propias experiencias bélicas están documentados en el *Journal of the Royal Naval Scientific Service*.¹⁷



Fig. 3. A. B. Wood.

ESFUERZOS POSTERIORES A LA PRIMERA GUERRA MUNDIAL

Después de la Primera Guerra Mundial, muchos científicos e ingenieros estadounidenses, británicos y franceses estaban ocupados desarrollando las ideas nacidas durante el conflicto. La primera investigación consistió en la transducción. Se demostró que los transductores de Langevin podrían funcionar como dispositivos de rango de eco altamente direccional. G. W. Pierce desarrolló la transducción magnetorestrictiva para sondeos de profundidad. Los esfuerzos de transductores estadounidenses también se centraron en cristales piezoeléctricos de sal de Rochelle. La NRL extendió estas tecnologías a la detección submarina y desarrolló un sistema electroacústico para la escucha binaural.¹⁵

En esta era, las empresas industriales elaboraron un inventario de sonares de reflectores tanto para uso en buques de superficie como submarinos (figura 4). Los sonares estadounidenses operaban a frecuencias de 24-30 kHz, por encima del rango de frecuencia de la audición humana, lo que reducía la detección de interferencias. También estaban por encima de las frecuencias de la mayoría de las fuentes de ruido de la maquinaria de a bordo, así como por encima de la gama de ruido de la superficie del mar impulsado por el viento. Estos sonares funcionaban transmitiendo una ráfaga corta de tono o *ping*, típicamente de 20-200 ms, dentro de una viga cónica directiva, típicamente alrededor de 10° de ancho en los puntos de media potencia. Los ecos de los objetivos eran recibidos antes de que se transmitiera el siguiente *ping*.¹⁸

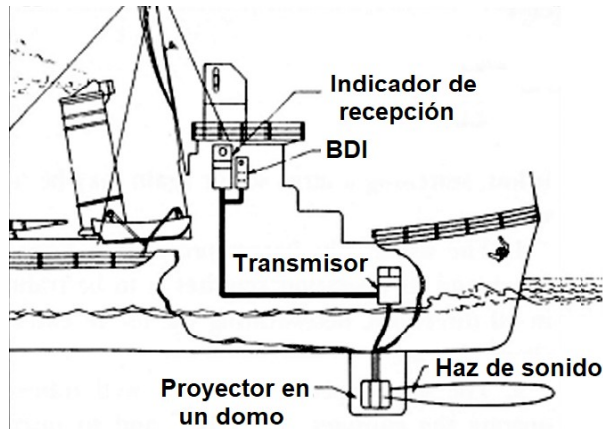


Fig. 4. Concepto de búsqueda de sonar. Un transductor de sonar está alojado en un domo debajo del casco y es dirigido mecánicamente para buscar objetivos. El Indicador de desviación de orientación (BDI) fue desarrollado más tarde durante la Segunda Guerra Mundial.

Un problema hidroacústico importante fue resuelto en 1937 por Elias Klein y otros en la NRL quienes determinaron que los bordes romos en las hélices sufrían cavitación, provocando resonancias en las hélices, y causaban vibraciones ruidosas a bordo de la nave. Afilar los álabes de la hélice llevó a barcos más silenciosos con más empuje. A finales de la década de 1930, la NRL también desarrolló tecnología de defensa portuaria, incluyendo un sistema de boyas acústicas ancladas llamado Herald (figura 5) que fue interconectado para proporcionar alertas y rastrear y localizar naves furtivas que podrían entrar en la instalación o área portuaria.¹⁵

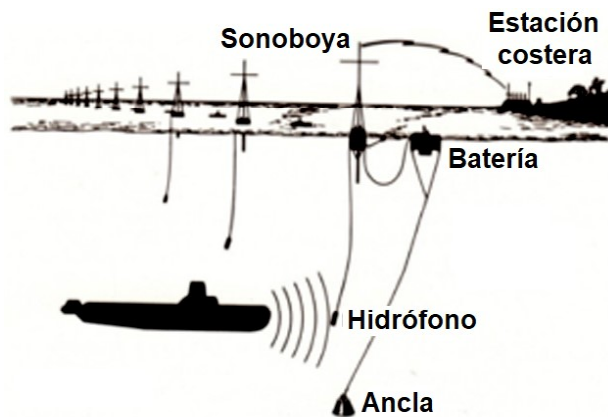


Fig. 5. Sistema de seguridad portuaria y perimetral del Naval Research Laboratory «Herald». Una línea de hidrófonos acoplados por radio detecta la presencia de un intruso.

SEGUNDA GUERRA MUNDIAL

En el período previo a la Segunda Guerra Mundial, varios científicos perspicaces en los Estados Unidos se preocuparon justificadamente por el mal estado de los preparativos estadounidenses para la guerra. Un plan liderado por Vannevar Bush fue presentado al presidente Franklin Roosevelt en junio de 1940 para formar un Comité de Investigación de Defensa Nacional (NDRC), convirtiendo a la guerra bajo la superficie en un área de acción para la investigación y desarrollo acelerados.¹⁴

Pronto se reconoció que era necesario mejorar los sistemas acústicos subacuáticos de la Marina de los Estados Unidos y desarrollar nuevos sistemas.

Tres universidades (Columbia, Harvard y la Universidad de California, San Diego) fueron encargadas de desarrollar personal e instalaciones para lograr resultados en áreas específicas de acústica submarina, mucho más allá de su ámbito académico normal, así como la Institución Oceanográfica de Woods Hole (WHOI) y el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT).

Los laboratorios de la Marina y muchas empresas industriales estadounidenses estaban muy involucrados. La lista es demasiado larga para contemplarla aquí, pero incluye a las principales organizaciones que aparecen en el diagrama de organización simplificado de la figura 6.¹⁴

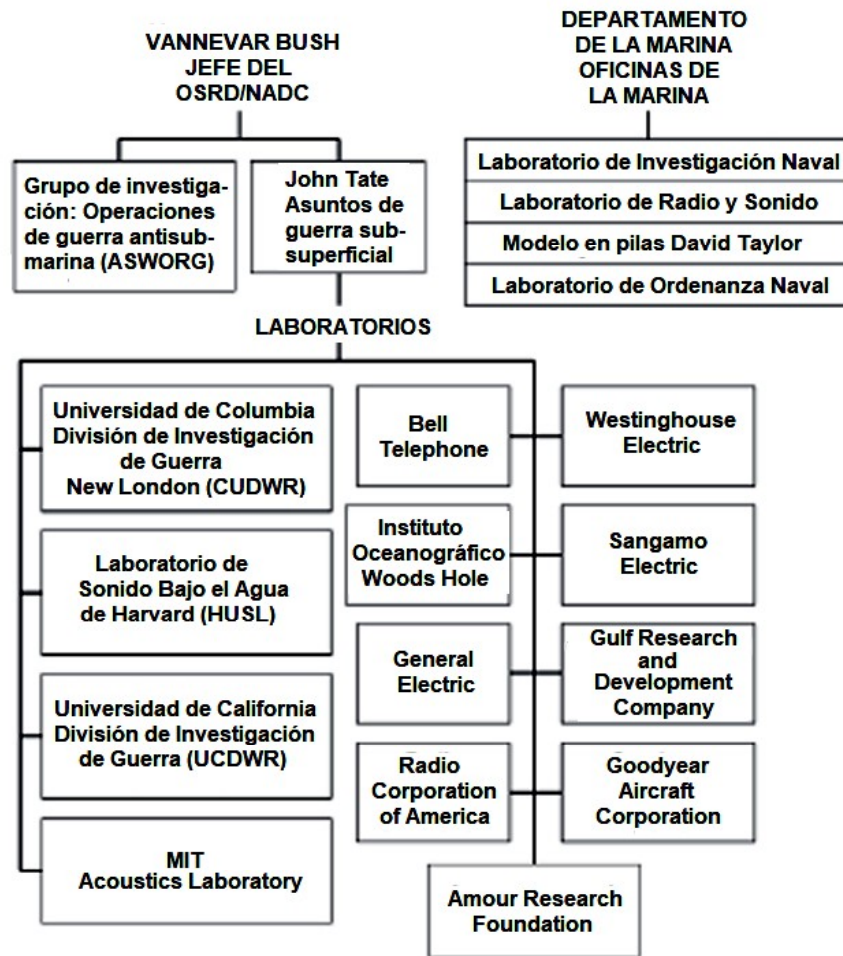


Fig. 6. Organigrama de investigación y desarrollo de la Segunda Guerra Mundial. OSRD, Oficina de Investigación y Desarrollo; NDRC, Comité Nacional de Investigación de Defensa. De Lasky (1977).

La División de Investigación de Guerra de la Universidad de Columbia (CUDWR) fue establecida en 1941, con sede en Nueva York, NY, y un laboratorio de sonido en la Estación de Guardacostas estadounidense en el legendario sitio de la Guerra Revolucionaria, Fort Trumbull en New London, CT (CUDWR NLL).

Este laboratorio emprendió muchos proyectos, incluyendo la investigación y el desarrollo de sonar de escucha pasiva para submarinos estadounidenses y el silenciamiento de su ruido radiado o firma de barco.¹⁴ Un ejemplo de su trabajo fue el sistema hidrofónico direccional JP, figura 7, montado en un submarino. Esto permitió a los submarinos estadounidenses sumergidos, así como a las lanchas patrulleras, obtener rodamientos en naves de superficie de sus firmas en la banda de audio.¹⁹ Este sistema proporcionó la muy necesaria detección en la banda de audio, permitiendo a los submarinos estadounidenses sentir y medir la dirección de las naves enemigas. el CUDWR NLL se convirtió en el Laboratorio de Sonido Submarino de la Marina de los Estados Unidos después de la guerra.²⁰



Fig. 7. Hidrófono direccional JP, el primer sistema de vigilancia de banda ancha de la flota en la banda de audio.

En 1942, el CUDWR también se encargó de operar el Laboratorio de Referencia de Sonido Subacuático (USRL), bajo la dirección de Robert S. Shankland, quien se encargaría de desarrollar y proporcionar un inventario de transductores acústicos estándar de banda ancha subacuática.^{21,22} Se estableció un centro de pruebas en Orlando (Florida), mientras que las obras de ingeniería se realizaron en la sede de la CUDWR en Nueva York. Estos transductores fueron calibrados por medio de primeros principios (por ejemplo, reciprocidad) y fueron utilizados por una variedad de clientes que trabajan en el esfuerzo de guerra.

El Harvard Underwater Sound Laboratory (HUSL) fue establecido en junio de 1941 con Frederick V. (Ted) Hunt (figura 8) como su director. Hunt pasó a ser Presidente de ASA (1951-1952). Recibió la Medalla “Pioneros de la Acústica Subacuática” (1965) y la Medalla de Oro (1969). HUSL operó durante cuatro años, haciendo importantes contribuciones en el uso del sonido para detectar submarinos al (1) mejorar el equipo actual, (2) desarrollar nuevos dispositivos, y (3) desarrollar torpedos acústicos de rastreo.^{23,9}

Las mejoras en la flota existente de sonar ASW incluyeron (1) un sistema para determinar el rodamiento objetivo con un solo haz de sonar dividido, llamado indicador de desviación de rodamiento (BDI), (2) un sistema Gain variable (TVG) para compensar las pérdidas de transmisión, y (3) un sistema de anulación Doppler (ODN) propio para aumentar la detección del cambio Doppler en las señales de destino. Estos se incorporaron en una consola de visualización de sonar mejorada.

La nueva arquitectura de sonar HUSL desarrollada (matriz cilíndrica de elementos transductores, capacitivos eléctricos y escaneo electrónico de modulación) marca el ritmo de los sonares modernos.⁹

Un desarrollo clásico de HUSL fue el torpedo Mk 24 (con fines de secreto, designado una mina llamada Fido) que fue desarrollado por este laboratorio en tiempo récord. Se trataba de un dispositivo de propulsión eléctrico a batería, lanzado al aire, guiado por un sistema sonar autónomo instalado delante de la ojiva (figura 8) y fue desarrollado y probado en diciembre de 1942, puesto en producción por Western Electric, y utilizado con éxito en 1944 operaciones en el Atlántico.

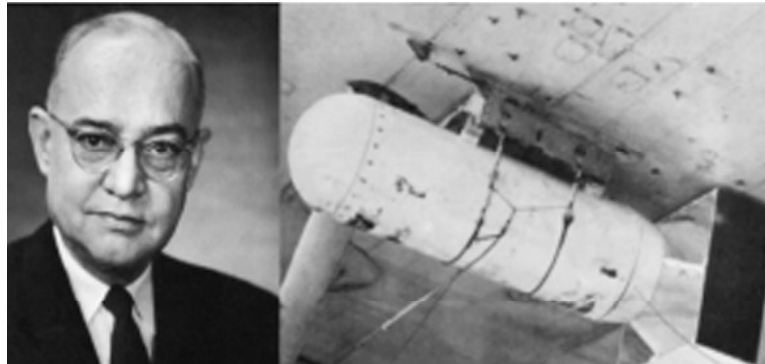


Fig. 8. Frederick (Ted) Hunt and Mk 24 torpedo "Fido."

La División de Investigaciones de Guerra de la Universidad de California (UCDWR) fue establecida por la NDRC en abril de 1941 para capitalizar la experiencia científica del sistema de la Universidad de California, el Instituto Scripps de Oceanografía (SIO), y para proporcionar una presencia de investigación y desarrollo en la Costa Oeste. El Laboratorio de Radio y Sonido de la Marina (NRSL) ya existía en San Diego's Point Loma. La UCDWR fue contratada para administrar la NSRL para la Marina y proporcionó la mayoría de los científicos, ingenieros y personal técnico, mientras que la NSRL proporcionó las instalaciones y el apoyo. El primer director (1941) fue Vernon Knudsen, cofundador de la ASA, ex presidente de la ASA (1933-1935), y posteriormente medallista de oro de la ASA (1967). Knudsen fue sucedido en 1942 por Gaylord Harnwell, quien recibió la Medalla al Mérito por su servicio a la NSRL y pasó a ser presidente de la Universidad de Pensilvania. Carl Eckart fue el físico teórico preeminente de la NSRL y ganó la Medalla Pioneros de la Acústica Subacuática en 1973 (todos mostrados en la figura 9).



Fig. 9. De izquierda a derecha: Vernon Knudsen, Gaylord Harnwell, y Carl Eckart.

El laboratorio de San Diego de la UCDWR llevó a cabo investigaciones y experimentos sobre una larga lista de efectos oceanográficos y acústicos oceánicos, incluyendo corrientes, temperatura del agua, salinidad, batimetría y otras variables oceánicas, así como propagación de sonido, dispersión, reverberación, y el ruido ambiental.

Se desarrollaron los conocimientos básicos necesarios para mejorar el sonar y el uso de los sistemas de la Marina, así como los dispositivos de sonar adjuntos. La UCDWR también llevó a cabo un amplio programa de capacitación para el personal naval y los científicos del personal desplegados con la flota para apoyar la prueba y el uso del equipo, y para asesorar sobre cuestiones acústicas.^{24,25}

Se contrató a expertos de entornos singulares para tareas como la grabación de sonido de precisión. Entre ellos estaba Arthur Roshon, que vino de *Walt Disney Studios* en Hollywood, para liderar un logro importante en el desarrollo de un sistema de sonar de frecuencia modulada de alta frecuencia continua (CTFM), designado el QLA, que se instaló en 45 submarinos estadounidenses y resultó extremadamente útil para evitar minas en operaciones en mares interiores fuertemente minados.²⁶ Otro proyecto importante fue el desarrollo de señuelos diseñados para simular submarinos, y más de 4.000 de estos señuelos de servicio en la flota.²⁷

El WHOI fue fundado en 1930 a instancias de la Academia Nacional de Ciencias y una subvención de la Fundación Rockefeller y fue guiada por visionarios como Henry Bigelow y Frank Lille. A partir de 1935, el profesor de geofísica Maurice Ewing de la Universidad de Lehigh comenzó a participar en cruceros de investigación de verano a bordo de WHOI's R/V Atlantis con sus estudiantes, incluyendo a J. Lamar (Joe) Worzel, quien se asociaría a Ewing para una vida profesional (figura 10). En 1940, Ewing y sus estudiantes llegaron a el WHOI durante la guerra, trayendo la acústica subacuática a la institución. Entre ellos se encontraban Alan Vine, Brackett Hersey y Frank Press, que pasó a ser presidente de la Academia Nacional de Ciencias.²⁸

Se realizaron experimentos acústicos subacuáticos con fuentes de disparo explosivo, hidrófonos en la columna de agua y geotelfonos en el fondo marino poco profundo. Se mejoraron los experimentos acústicos mediante la medición de parámetros oceánicos, como registros batitermográficos del perfil de la temperatura de los océanos.²⁹ Realizaron mediciones de aguas poco profundas a lo largo de la Costa Este y estudiaron la propagación de sedimentos y columnas de agua para descubrir y describir características dispersas de pulsos acústicos de banda ancha. Los conjuntos de datos fueron analizados por Pekeris³⁰, figura 10, del Grupo de Física Matemática de la Universidad de Columbia. Estudió cuidadosamente los resultados de las mediciones y desarrolló el primer modelo teórico de agua poco profunda, de modo normal, que lleva su nombre y continúa hasta hoy como un referente.

A Ewing se le atribuye primero la predicción y luego las primeras mediciones del canal de sonido de fijación y rango (SOFAR) creado por la disminución de la temperatura y el aumento de la presión con profundidad en el océano profundo.³¹ Este efecto permite la propagación a largo plazo dentro de una zona horizontal profunda. Leonid Brekhovshikh encontró independientemente este resultado mediante el estudio de datos experimentales en la Unión Soviética.^{32,2,33}

El canal SOFAR permitía a los pilotos caídos pedir ayuda con una pequeña carga explosiva.



Fig. 10. De izquierda a derecha: Maurice Ewing, J. Lamar Worzell, and Chaim L. Pekeris.

Las misiones de NRL en la Segunda Guerra Mundial estaban resolviendo muchísimos problemas, incluyendo la ingeniería correctiva del sonar existente para aplicaciones tácticas de la ASW. Una de ellas era rediseñar el mecanismo de inclinación de la cabeza de sonido para que el sonar de la flota pudiera mirar hacia abajo en ángulos pronunciados para mantener la ubicación del eco en los objetivos del submarino. La aplicación de los descubrimientos de investigación realizados en otros lugares se redujo a la práctica naval y se puso a disposición de la flota. También se desarrollaron dispositivos únicos que incluían contramedidas y sistemas de armas para superar problemas en tiempos de guerra.^{14,34}

También se establecieron activos de campo NRL para investigación y pruebas. El primer rango de prueba acústica de la Marina se desarrolló en Key West, FL, y el Leo Treitel de la NRL desarrolló instrumentación para probar los sonares de los buques de guerra que pasan por una pista de prueba para probar el funcionamiento adecuado de sus sistemas de sonar.

El *David Taylor Model Basin* (DTMB) recibió su nombre del contraalmirante David W. Taylor, quien construyó la primera instalación estadounidense para la investigación hidrodinámica de buques en el Astillero Naval de Washington en 1898 y fue un arquitecto naval de renombre mundial. La instalación de DTMB fue construida en 1939 y hoy es parte de la División del Centro de Armas de Superficie Naval en Carderock, MD. Aunque en gran medida una instalación de investigación hidrodinámica, el DTMB ha sido un centro para la acústica subacuática porque hay una fuerte relación entre el flujo hidrodinámico y la firma de radiada y autoradiada por la nave que se detecta por sonar pasivo (escuchando).

En los primeros días de la Segunda Guerra Mundial, un joven físico llamado Murray Strasberg (figura 11) se unió a un grupo de DTMB involucrado en problemas de ruido submarino, encabezado por William Sette. Realizaron mediciones de burbujas de ruido de cavitación generadas por hélices modelo en los túneles de agua DTMB y estudiaron el inicio de burbujas de cavitación en función de la presión ambiental. Strasberg fue el primero en notar que el inicio del ruido de cavitación ocurrió antes de que se pudiera observar visualmente e identificar un efecto adicional de cavitación generador de ruido procedente de las puntas de la hélice.¹⁹ Realizó las primeras pruebas marítimas en tres submarinos de la clase Guppy (SS 212), midiendo cavitación de hélice con hidrófonos fuera de borda especialmente instalados.

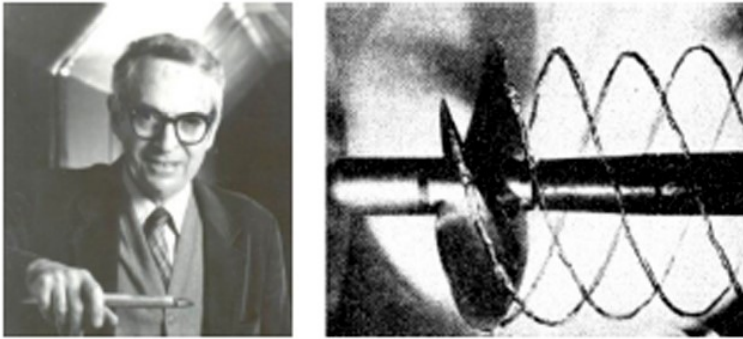


Fig. 11. Murray Strasberg y la cavitación de la punta de la hélice.

Pasó a desarrollar nuevos principios de diseño de hélices, que utilizan diferentes formas y número de hojas. Murray Strasberg publicó más tarde en *The Journal of the Acoustical Society of America*,³⁵ y se convirtió en un líder clave ASA, sirviendo como presidente (1974-1975) y recibiendo la Medalla de Oro en 2000.³⁶

Varias organizaciones que realizaban investigaciones sobre la Segunda Guerra Mundial con las mencionadas anteriormente eran bastante activas y no se describieron aquí debido a limitaciones de espacio. Uno de ellos fue el Laboratorio de Sonido Subacuático del MIT, que trabajó con fabricantes de ruidos subacuáticos utilizados para confundir los sistemas de armas enemigas.²⁷ Quizás el mayor contribuyente del MIT al esfuerzo de guerra fue Philip Morse. Vannevar Bush lo seleccionó para encabezar el Grupo de Investigación de Operaciones de la ASW, la cual tenía la responsabilidad de guiar a la flota en el uso efectivo de su sonar, radar y sistemas de armas para maximizar su impacto.³⁷ Sus conocimientos de física y acústica le sirvieron bien en este esfuerzo. Morse pasó a escribir libros de texto de acústica, convertirse en presidente de la ASA (1951-1952), y recibir su Medalla de Oro (1973).

PERSPECTIVA

Algunos de los aspectos más destacados de la acústica subacuática en las épocas aquí esbozadas se han centrado en personas, lugares y ejemplos notables de desarrollos que estuvieron involucrados. En estas épocas se descubrieron algunas características verdaderamente significantes de la acústica oceánica, de las que sólo hemos podido hacer mención cualitativa. Muchos de estos esfuerzos simplemente tenían que hacerse, sobre todo en tiempos de guerra, pero se convirtieron en logros científicos y de ingeniería por derecho propio. Participaron acústicos de todas las disciplinas, mientras que también participaron otros de disciplinas completamente diferentes. Es interesante que muchos de los descubrimientos de investigación básica y aplicada realizados tanto en la Primera Guerra Mundial como en la Segunda Guerra Mundial no pudieron utilizarse antes de que terminaran las guerras. Estos logros se han explorado más a fondo y ahora aparecen en textos modernos, así como en la literatura acústica. La historia de la Segunda Guerra Mundial muestra el importante papel que jugó la acústica subacuática en su resultado, y mucho mérito se debe a los miembros de la ASA que contribuyeron.

REFERENCIAS

1. Las ponencias se presentaron en tres sesiones especiales presididas por los autores: “Perspectivas históricas sobre los orígenes de la acústica subacuática I, II y III”, y están en *The Journal of the Acoustical Society of America* 137, 2273, 2274, 2275 (I), 2306, 2307, 2308 (II), y 2331, 2332 (III), abril de 2015.
2. Godin, O. A., and Palmer, D. R. (Eds.). (2008). *History of Russian Underwater Acoustics*. World Scientific Publishing, Singapore.
3. Fay, H. J. W. (1912). History and development of submarine signals. *Proceedings of the 29th Annual Convention of the American Institute of Electrical Engineers*, Boston, MA, June 1912, pp. 1337-1354.
4. Reynhout, D. H. (2002). *SUBSIG-Odyssey of an Organization*. Writer’s Club Press, New York.
5. Howarth, T. R. (2015). The Submarine Signal Company. *The Journal of the Acoustical Society of America* 137, 2273.
6. Fessenden, H. M. (1940). *Fessenden, Builder of Tomorrows*. Coward-McCann, Inc., New York.
7. Fessenden, R. A. (1916). *Dynamo Electric Machinery*. US Patent No. 1,167,366, filed May 31, 1913, and issued January 4, 1916.
8. Seitz, F. (1999). The cosmic inventor, Reginald Aubrey Fessenden (1866-1932). *Transactions of the American Philosophical Society* 89, 1-77.
9. Pectorius, F. M., and Blackstock, D. T. (2015). Contributions to the development of underwater acoustics at the Harvard Underwater Sound Laboratory (HUSL). *The Journal of the Acoustical Society of America* 137, 2274/*Proceedings of Meetings on Acoustics* 23, 070008.
10. Centre National de la Recherche Scientifique (C.N.R.S.). (1950). *Oeuvres Scientifiques de Paul Langevin*. Service des Publications du C.N.R.S., Paris, pp. 525-603.
11. Zimmerman, D. (2002). Paul Langevin and the discovery of active sonar or asdic (incluye “An account of the research work carried on in France” by Paul Langevin, 1918). *The Northern Mariner/Le Marin du Nord* 12, 39-52.
12. Sabra, K. (2015). Paul Langevin’s contributions to the development of underwater acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 137, 2273.
13. Erskine, F. T., III. (2015). Harvey C. Hayes, First superintendent of the Sound Division at the Naval Research Laboratory, Washington, DC. *Proceedings of Meetings on Acoustics* 23, 070007.
14. Lasky, M. (1977). Review of undersea acoustics to 1950. *The Journal of the Acoustical Society of America* 61, 283-297.
15. Klein, E. (1968). Underwater sound and naval acoustical research and applications before 1939. *The Journal of the Acoustical Society of America* 43, 931-937.
16. Buckingham, M. J. (2015). The naval science of Albert Beaumont Wood, O.B.E., D.Sc. *The Journal of the Acoustical Society of America* 137, 2274/*Proceedings of Meetings on Acoustics* 23, 070009.

17. Wood, A. B. (1965). *Journal of the Royal Naval Scientific Service. Special Issue*, Vol. 20, No. 4.
18. National Defense Research Committee (NDRC). (1946a). *Scanning Sonar Systems. Summary Technical Report of Division 6, Volume 16*, National Defense Research Committee, National Research Council, US Government Printing Office, Washington, DC.
19. National Defense Research Committee NDRC (1946b). *Principles of Underwater Sound. Summary Technical Report of Division 6, Volume 7*, National Defense Research Committee, National Research Council, US Government Printing Office, Washington, DC.
20. Knobles, D. P., Muir, T. G., and Westwood, E. K. (2015). Columbia University Division of War Research. *The Journal of the Acoustical Society of America* 137, 2275.
21. National Defense Research Committee NDRC (1946c). *Basic Methods for the Calibration of Sonar Equipment. Summary Technical Report of Division 6, Volume 10*, National Defense Research Committee, National Research Council, US Government Printing Office, Washington, DC.
22. Brown, D. A., and Paolero, A. (2015). History of underwater electroacoustic transducer standards, calibration methods, facilities, and some early contributors. *The Journal of the Acoustical Society of America* 137, 2308.
23. Hunt, F. V. (1946). *Applied Acoustics in Subsurface Warfare. Harvard Underwater Sound Laboratory Final Report*, Harvard University, Cambridge, MA.
24. Kuperman, W. A. (2015). The University of California Division of War Research (UCDWR) and the Marine Physical Laboratory (MPL). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 137, 2274.
25. Rees, C. D. (2015). Early acoustics research at the Navy's Pacific Research and Development Laboratory. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 137, 2308.
26. National Defense Research Committee NDRC (1946d). *Frequency-Modulated Sonar Systems. Summary Technical Report of Division 6, Volume 17*, National Defense Research Committee, National Research Council, US Government Printing Office, Washington, DC.
27. National Defense Research Committee NDRC (1946e). *Sonar Countermeasures. Summary Technical Report of Division 6, Volume 19*, National Defense Research Committee, National Research Council, US Government Printing Office, Washington, DC.
28. Lynch, J., Newhall, A., and Frosch, R. (2015). Acoustics at the Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI), 1930-1960. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 137, 2275/Proceedings of Meetings on Acoustics 23, 070013.
29. Worzell, J. L., Ewing, M., and Pekeris, C. L. (1948). Explosion sounds in shallow water. In Worzel, J. L., Ewing, M., and Pekeris, C. L. (Eds.), *Propagation of Sound in the Ocean, Memoir 27*. The Geological Society of America, Boulder, CO, pp. 1-62. Reprinted by the Acoustical Society of America, Melville, NY, 2000.

30. Pekeris, C. L. (1948). Theory of propagation of sound in shallow water. In Worzel, J. L., Ewing, M., and Pekeris, C. L. (Eds.), *Propagation of Sound in the Ocean, Memoir 27*. The Geological Society of America, Boulder, CO, pp. 1-116. Reprinted by the Acoustical Society of America, Melville, NY, 2000.
31. Ewing, M., and Worzel, J. L. (1948). Long-range sound propagation. In Worzel, J. L., Ewing, M., and Pekeris, C. L. (Eds.), *Propagation of Sound in the Ocean, Memoir 27*. The Geological Society of America, Boulder, CO, pp. 1-32. Reprinted by the Acoustical Society of America, Melville, NY, 2000.
32. Brekhovshikh, L. M. (1949). Concerning the propagation of sound in an underwater acoustic channel, *Doklady Akademii Nauk SSSR* 69, 157–160.
33. Godin, O. A. (2015). Leonid Brekhovskikh and his lasting impact on underwater acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America* 137, 2274.
34. Erskine, F. T., III. (2013). *A History of the Acoustics Division of the Naval Research Laboratory: The First Eight Decades 1923-2008*. Naval Research Laboratory, Washington, DC. Available at <http://acousticstoday.org/NRL>.
35. Strasberg, M. (1956). Gas bubbles as a source of sound in liquids. *The Journal of the Acoustical Society of America* 28, 20-26.
36. David Feit presentó una ponencia titulada “Underwater Acoustics Research at the David Taylor Model Basin”, durante una mesa redonda en la sesión especial “Perspectivas históricas sobre los orígenes de la acústica subacuática II” en la 169ª reunión de la Acoustical Society of America celebrada en Pittsburgh, PA, 2014.
37. National Defense Research Committee NDRC (1946f). *Antisubmarine Warfare in World War II. Summary Technical Report of Division 6, Volume 3*, National Defense Research Committee, National Research Council, US Government Printing Office, Washington, DC.