



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18- 24 al 26 de octubre

ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN DE ORIGEN ACÚSTICO Y NO ACÚSTICO EN ENTORNOS MARINOS

PACS: 43.40.Rj

Moya de Rivas, Esther; Rodrigo Saura, Fco. Javier; Sánchez García, Antonio;

Sociedad Anónima de Electrónica Submarina. Carretera Algameca, s/n, 30205, Cartagena, Murcia, España. e.moya@ electronica-submarina.com, f.rodrido@electronica-submarina.com, a.sanchez@ electronica-submarina.com

Palabras Clave: Contaminación acústica, contaminación electromagnética, impacto medioambiental.

ABSTRACT

Human activity in the marine environment generates a radiation of energy of acoustic and non-acoustic origin, causing a type of pollution that impacts on marine flora and fauna. At present, great efforts are being made to evaluate the pollution of acoustic origin, while negative effects derived from non-acoustic sources are clearly less identified. In this work an analysis of the acoustic and non-acoustic pollution is carried out, valuing the environmental impact that it generates. In addition, real values measured in situ in long term campaigns are presented for the quantification of the pollution due to the radiated energy.

RESUMEN

La actividad humana en el entorno marino genera una radiación de energía de origen acústico y no acústico, provocando un tipo de contaminación que impacta sobre la flora y fauna marina. En la actualidad, se están realizando grandes esfuerzos para evaluar la contaminación de origen acústico, no estando tan identificados los problemas derivados de la contaminación no acústica. En este trabajo se realiza un análisis de la contaminación acústica y no acústica poniendo en valor el impacto medioambiental que ésta genera. Además, se presentan valores reales para la cuantificación de la contaminación debida a la energía radiada, medidos in situ en campañas de larga duración.

1. INTRODUCCION Y PLANTEAMIENTO

Durante los últimos años está aumentando de forma progresiva la concienciación sobre los efectos negativos que sobre la vida marina ocasiona la contaminación producida por diferentes radiaciones de energía en el medio marino (Figura 1). Diferentes instituciones que operan en ámbitos nacionales e internacionales se han hecho eco de esta preocupación, como se refleja en regulaciones específicas promulgadas en este ámbito, entre las que se encuentra la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina (DMEM). Esta directiva fue adoptada por la Unión Europea en el año 2008 con el objetivo de lograr o mantener un Buen Estado Medioambiental (BEM) en el medio marino para el año 2020.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

La DMEM incluye un conjunto de 11 descriptores para evaluar el BEM. En particular, el descriptor 11 se refiere a que: "la introducción de energía, incluido el ruido subacuático, se sitúa en niveles que no afectan de manera adversa al medio marino". Este descriptor hace referencia a la introducción de los diferentes tipos de energía en el entorno marino, entre los que se encuentran, además de la energía acústica, a la que tradicionalmente se le ha prestado mucha más atención, las energías eléctrica y magnética.



Figura 1. Cetáceo en la proximidad de un buque mercante.

La radiación acústica se origina a partir de una fuente que vibra y se propaga en forma de onda dentro de un medio elástico como es el mar, originando cambios de presión que son susceptibles de ser medidos. La transmisión del sonido en el agua se caracteriza por su alto rendimiento. Constituye la forma de radiación conocida que se propaga de forma más eficiente en el medio acuático y depende de parámetros ambientales (temperatura, salinidad, presión, corrientes marinas) y físicos (relieve del fondo, superficie, partículas en suspensión) [1], pudiendo alcanzar grandes distancias en el caso de bajas frecuencias.

Las señales acústicas generadas en el entorno marino, y en particular las generadas por los buques, se dividen en señales continuas e impulsivas según su duración temporal. Las señales impulsivas se caracterizan por tener una corta duración y, en ocasiones, un alto nivel de energía. En el ámbito de la frecuencia, las señales se dividen en banda ancha y banda estrecha. Las primeras se caracterizan por abarcar un amplio espectro de frecuencias, mientras que las segundas se limitan a un espectro reducido. En la Figura 2 se muestra un ejemplo de cómo se propaga el sonido en el medio acuático utilizando un modelo de propagación acústica submarina.

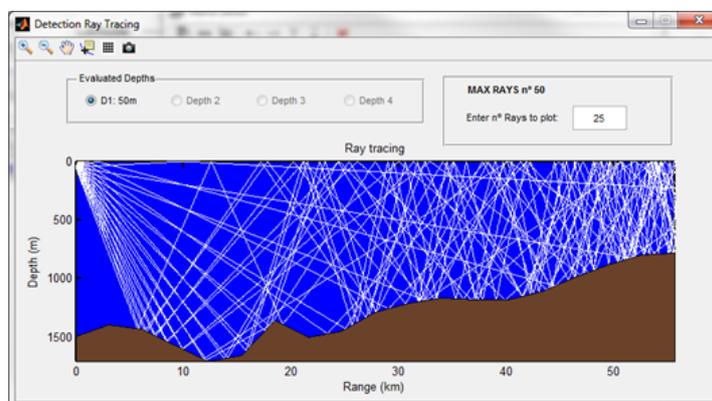


Figura 2. Caminos de propagación acústica submarina generados por el sistema SEAPROF.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

El campo magnético, que es generado y radiado al entorno marino por diversas fuentes, y en particular por buques, está formado por dos componentes: La componente estática (SM) y la componente alterna (AM).

La componente estática es generada por el campo magnético permanente y el campo magnético inducido. El campo magnético permanente aparece debido a la magnetización por el campo magnético terrestre de los materiales magnéticos con los que se construye el buque. Por otro lado, un buque siempre está en presencia de un campo magnético externo, el campo magnético terrestre, el cual contribuye asimismo a la firma magnética del buque.

Además del campo magnético permanente e inducido, también contribuye a la firma magnética estática el campo CRM (Corrosion Related Magnetic). Este campo es debido a la existencia de corrientes eléctricas de corrosión en el mar, que tienen un campo magnético asociado.

La componente alterna de la firma magnética es generada por:

- Las corrientes en las bobinas rotativas de las turbinas del buque. Éstas actúan como dipolos magnéticos, los cuales generarán una firma magnética AM.
- Las corrientes de Foucault inducidas en el mar por los dipolos magnéticos. Estas corrientes son variables en el tiempo y están asociadas a los campos eléctricos AM.
- Corrientes eléctricas que fluyen en el casco debido a fallos de los equipos y/o un inadecuado diseño eléctrico del equipo.
- Campo magnético inherente radiado por cualquier maquinaria rotativa eléctrica en el buque.
- Rizado en la fuente de alimentación.

En la Figura 3 se presenta un ejemplo de simulación de campo magnético generado por un buque.

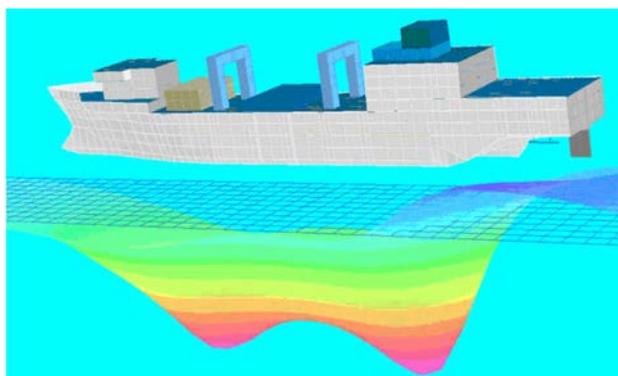


Figura 3. Simulación del campo magnético generado por un buque.

El campo eléctrico, que es generado y radiado al entorno marino por diversas fuentes, y en particular por buques, está formado, al igual que el campo magnético, por una componente estática y una componente alterna. La componente estática se denomina UEP (Underwater Electric Potential) y la componente alterna ELFE (Extremely Low Frequency Electric).

La componente eléctrica estática de un buque es debida a las corrientes eléctricas generadas en el proceso de corrosión galvánica. Para evitar dicha corrosión se utilizan los sistemas pasivos

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

y activos (ICCP, Impressed Current Cathodic Protection) de protección catódica, los cuales también contribuyen por su parte a la generación de la componente eléctrica estática.

El campo eléctrico alterno o ELFE se debe a las siguientes fuentes:

- Modulación de la corriente de corrosión: la corriente galvánica se modula debido al giro de palas y hélices.
- Rizado en la alimentación de la maquinaria del buque. Aparece un tono de frecuencia correspondiente a la frecuencia de alimentación.
- Rizado en sistemas de degaussing e ICCP, correspondiente a la modulación que sufre la corriente del sistema ICCP debido a la variación de la resistencia entre el eje y el casco del buque.

En la Figura 4 se muestra un ejemplo de simulación de firma eléctrica estática radiada por un buque.

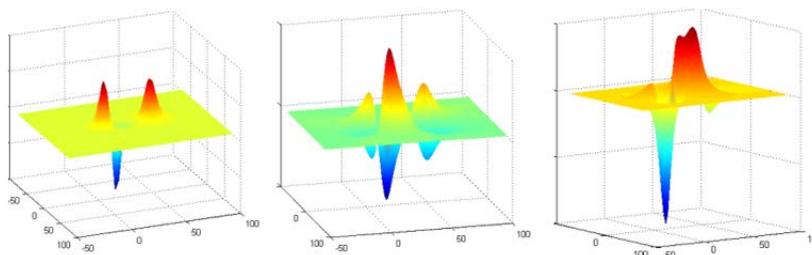


Figura 4. Ejemplo de simulación de firma eléctrica estática radiada por un buque (componentes longitudinal, transversal y vertical).

2. FUENTES CONTAMINANTES DEL ENTORNO MARINO

2.1. Fuentes contaminantes de energía acústica

En [2] se presentan de manera extensiva las fuentes principales de contaminación acústica debido a actividades desarrolladas por los humanos en entornos marinos.

Las actividades generadoras de ruido antropogénico se clasifican principalmente en:

- Dragados y construcciones.
- Perforaciones y producciones de gas y petróleo.
- Transporte.
- Investigaciones geodésicas.
- Sonares activos.
- Explosiones.
- Estudios oceanográficos científicos.



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18- 24 al 26 de octubre

Ruido generado en dragados y construcciones.

Los dragados marinos, construcción de túneles y otras actividades de construcción, en y cerca del mar, crean ruido submarino que puede exceder los niveles de ruido ambiente a largas distancias. Por ejemplo, Malme y Krumhansl midieron ruido generado a 50 metros de una maquinaria de Robbins utilizada para construir un túnel de 8 metros. Los sonidos predominantes eran de banda ancha, estando los más fuertes por debajo de los 10 Hz, disminuyendo la energía al incrementarse la frecuencia hasta 500 Hz. A mayor distancia, aparecieron fuertes componentes entre 30 Hz y 100 Hz debido a efectos de resonancia relacionados con la profundidad del agua.

Ruido generado en perforaciones y producciones de gas y petróleo.

Las perforaciones se pueden realizar desde islas naturales o artificiales, plataformas o buques. Las perforaciones realizadas desde islas naturales o hielo generan un ruido muy bajo. La distancia audible suele estar en los 2 km trabajando a frecuencias de 200 Hz. En aguas árticas poco profundas, durante el invierno, se generan frecuencias por debajo de 350 Hz, atenuándose desde 125 dB, a una distancia de 130 m, a 85 dB, a una distancia de 2 km. Las perforaciones desde islas artificiales producen un ruido notable, pero sigue siendo bajo. Los tonos pueden llegar a ser detectados a 0,5 km sin perforación y a 3,7 km perforando. Existe ruido asociado con el ensamblaje de elementos de las propias instalaciones, por ejemplo, tuberías conductoras, en las que se suele utilizar martillos industriales. El ruido generado por plataformas de perforación no está muy estudiado. Se han realizado algunas medidas en las que se concluye que el ruido no es detectable con niveles del estado de mar > 3. Las perforaciones se pueden realizar en dos tipos de buques, semisumergibles o buques de perforación. El ruido generado por buques de perforación es más alto y depende del tipo de maquinaria que se utilice y de la antigüedad de la misma. Por otro lado, el ruido en la producción de gas y petróleo es muy bajo debido a que estas instalaciones tienen poca superficie en contacto con el agua.

Ruido generado por el transporte

Cabe distinguir entre transporte aéreo y transporte marítimo, siendo este último la principal fuente de contaminación acústica en el entorno marítimo, por lo que se va a detallar en un apartado específico.

Respecto al ruido generado por el transporte aéreo, decir que la transmisión del sonido aire – agua modifica las características del sonido recibido bajo la superficie del mar. El nivel de sonido submarino generado por aviones depende de factores tales como: frecuencia, profundidad del receptor, profundidad del agua, altitud del avión, aspecto del avión y nivel de fuente del avión. Normalmente un pico de nivel recibido por un receptor disminuye cuando aumenta la altitud del avión o aumenta la profundidad del receptor. La dependencia con el aspecto del avión es tal que si el ángulo entre la línea del avión y el receptor es mayor de 13º la mayoría de rayos son reflejados y no penetran en el agua para bajos niveles de estado del mar, fondos profundos o aguas con fondos no reflectantes. Por otro lado, si la longitud de onda de las ondas acústicas emitidas es más grande que la longitud de onda de las olas de la superficie del mar, éste se comporta como una superficie completamente reflectante. La profundidad y las características del fondo influyen en la propagación y en los niveles del ruido submarino. La propagación lateral es mejor en aguas poco profundas, especialmente cuando el fondo es reflectivo. Como resultado, el límite de 13º no es siempre el mismo, incluso el tiempo de pasada del avión medido en un receptor submarino aumenta en aguas poco profundas debido a reflexiones en el fondo.

Los aviones utilizan máquinas de pistón o turbinas. Cada tipo de motor puede ser manejado con hélices o rotores (helicópteros) y turbinas turbojets o turbofans. Los sonidos de las maquinarias de pistón están dominados por la frecuencia de encendido del pistón, el cual causa una familia



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18- 24 al 26 de octubre

de tonos en el espectro (armónicos). Los motores de turbina están caracterizados por el silbido de las palas dentro de las diferentes fases del motor. Los tonos se producen desde pocos hertzios hasta frecuencias superiores a 1 kHz. Las fuentes primarias del ruido generado por aviones con turbinas turbojet o turbofan son las hélices y los rotores. El giro de las palas produce tonos con frecuencia fundamental que depende de la velocidad de giro y el número de palas. Los espectros del ruido generado por aviones y helicópteros generalmente están por debajo de los 500 Hz.

La duración de los sonidos recibidos por un receptor submarino es inferior a la del recibido por un receptor no submarino, así, por ejemplo, el helicóptero BELL 214ST es recibido en el aire 4 minutos antes de que pase sobre el receptor, mientras que en el agua es detectable 38 s @ 3 m y 11 s @ 18 m antes de que pase sobre el receptor. La duración aumenta al aumentar la altitud del avión, tendiendo a ser el sonido más tiempo audible en aguas profundas que en aguas poco profundas.

Ruido generado en investigaciones geodésicas.

Las investigaciones geofísicas utilizan fuentes de sonido para generar ondas sísmicas. Este tipo de fuentes se caracterizan por generar un ruido de muy alta energía, baja frecuencia y corta duración. El sonido generado es detectable a cientos de kilómetros de la fuente. Las fuentes más utilizadas son: cañones de aire (Air - Guns), Sleeve Exploders y cañones de gas (Gas - Guns) y Vibroseis.

Los sistemas Air – Guns son los más utilizados actualmente. Generan pulsos cada 10 – 15 s. En algunas áreas, la energía de baja frecuencia puede viajar a largas distancias a través de los sedimentos del fondo, volviendo a la fuente a través del agua. La velocidad del sonido es mayor en el sedimento del fondo que en el agua, de hecho, un receptor, situado a una distancia, recibirá el pulso transmitido a través del fondo seguido del pulso transmitido a través del agua.

Las fuentes Sleeve Exploders y Gas – Guns se cargan con una mezcla de oxígeno y propano para generar el pulso sonoro. La señal resultante tiene características similares a las generadas por un cañón de aire pequeño. Al igual que ocurre con los Air – Guns, al aumentar la distancia no sólo disminuye el nivel sino que además aumenta la duración del pulso, de manera que altas frecuencias (200 Hz) en el generador llegan al receptor como bajas frecuencias (70 Hz).

Finalmente, Vibroseis es un método utilizado en el hielo basado en un array de dispositivos hidráulicos que lo golpean. La frecuencia de las señales utilizadas es de 10 – 70 Hz, aunque los armónicos pueden extenderse hasta 1,5 kHz. Las señales generadas son transitorios de 5 – 20 s pudiéndose generar señales con niveles de 187 dB ref 1 μ Pa @ 1 m a 50 Hz durante un barrido de 10 a 65 Hz. El factor de atenuación es de 22,5 dB/km a 10 Hz y de 31,5 dB/km a 60 Hz.

Ruido generado en Sonares activos.

Los sonares activos se basan en la emisión de un pulso y la medida del eco que se produce cuando el pulso rebota en una superficie. Se pueden clasificar atendiendo al tipo en: sonares de profundidad variable, comerciales para pesca, para medir corrientes e investigación marítima, y militares para la detección de buques, para la detección de objetos y utilizados en armas como torpedos.

Las frecuencias de los sonares van desde los pocos cientos de Hz, para sonares de búsqueda de largo alcance, hasta varios cientos de kHz para sonares utilizados en la búsqueda de minas, cartografía marina y, en general, en sistemas que requieren discriminar pequeños objetos.



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Ruido generado en explosiones.

Las explosiones submarinas provocadas por el hombre son las más potentes, a excepción de las erupciones volcánicas submarinas o terremotos submarinos. Los pulsos de presión producidos generan un ruido capaz de provocar daños físicos o la muerte de mamíferos marinos. Incluso pequeñas detonaciones pueden ser detectables a cientos de km cuando se propagan en el canal sonoro. Cargas de profundidad (100 kg) detonadas en el canal sonoro profundo en Australia han sido detectadas en las Islas Bermudas.

Ruido generado en estudios oceanográficos científicos.

Algunos estudios científicos utilizan la energía acústica para analizar las características del fondo del mar y el agua, siendo aquellos utilizados para analizar el fondo los que emplean mayor energía. También se utiliza la energía acústica para estudiar las pérdidas por transmisión del sonido y las propiedades de las masas oceanográficas.

Desde la 2ª Guerra Mundial se han utilizado cargas de 0,9 kg para estudiar la propagación del sonido y las características del fondo marino. Esta carga situada a 18 ó 244 metros de profundidad genera un pico de presión a una distancia de 1 km de 208 dB ref 1 μ Pa, los pulsos de burbujas tienen una frecuencia de 8 Hz y 50 Hz y el impulso estimado a 1 km es de 7,1 Pa. En acústica tomográfica se utilizan proyectores que generan niveles de presión de 165 dB ref 1 μ Pa @ 1 m para dispositivos de corto alcance y niveles de 190 – 220 dB ref 1 μ Pa @ 1 m para dispositivos de largo alcance. Las frecuencias de trabajo se encuentran entre los 50 Hz y los 200 Hz.

La acústica termométrica está especializada en estudios de largo alcance, obteniendo la temperatura de los océanos basándose en la medida de la variación de la velocidad del sonido. En 1991 se realizó "The Heard Island Feasibility Test". Se generaron tres tipos de señales centradas en 57 Hz y proyectadas en el canal sonoro, a una profundidad de 175 m, cada media hora durante 7 días. Se utilizó un array de transductores que generaba niveles de 220 dB ref 1 μ Pa @ 1 m. Con esos niveles, se detectaron niveles de 160 dB a 1 km, 137 dB a 72 km, a profundidad 80 m, y 120 dB a distancias de 100 – 1000 km, dependiendo de la profundidad de los receptores. Las señales fueron detectadas hasta una distancia de 17.000 km.

2.2. Ruido generado por tráfico marítimo

El tráfico marítimo es la principal fuente de contaminación acústica en el entorno marino. Los niveles y frecuencias de los sonidos generados dependen del tamaño y velocidad del buque, generándose ruido de banda ancha y de banda estrecha. Las fuentes típicas del ruido de banda ancha son: las hélices / ejes (inferior a 100 Hz), ruido hidrodinámico y algunos sistemas de propulsión. Las fuentes típicas del ruido de banda estrecha son: las bombas, motores, equipos de alimentación eléctrica y sistemas de propulsión.

En la Figura 5 se muestran las bandas de frecuencias asociadas a distintas fuentes de ruido acústico radiado por buques.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

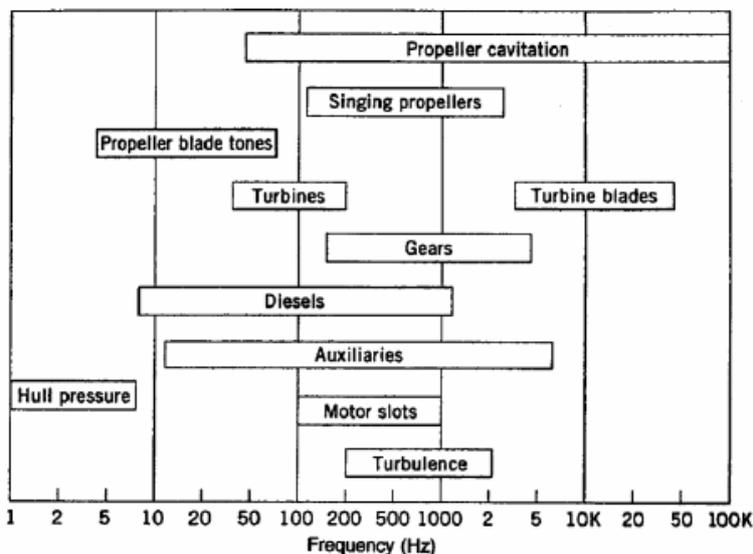


Figura 5. Bandas de frecuencias de las fuentes de ruido radiado por buques.

Existe una amplia bibliografía correspondiente a trabajos de análisis de medidas del ruido radiado por buques. Así, por ejemplo, en [3] se realiza un extenso análisis del ruido acústico y sísmico generado por cruceros en un entorno portuario en el Mediterráneo. Se utilizaron 60 medidas de cruceros de gran porte. En la Figura 6 se muestra un ejemplo que contiene la serie temporal, análisis de banda ancha y banda estrecha de la señal acústica y sísmica de una de estas medidas.

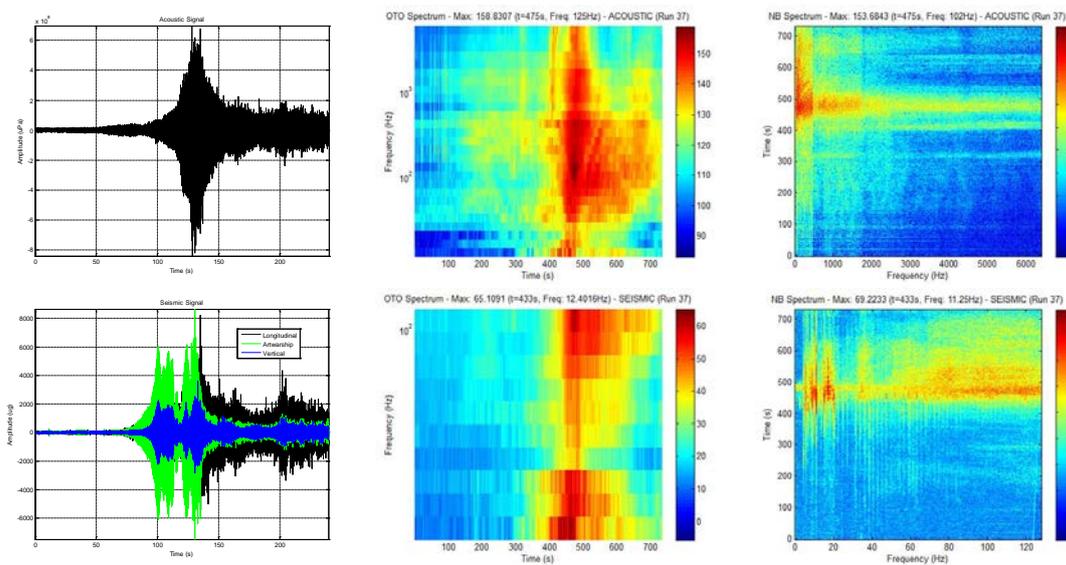


Figura 6. Serie temporal (izquierda), análisis de banda ancha (centro) y de banda estrecha (derecha) de señal acústica (arriba) y sísmica (abajo) correspondiente a un crucero medido en el mar Mediterráneo.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

En la Figura 7 se muestran para cada medida analizada en [3] el valor de energía en los dos tercios de octava referenciados en el Descriptor 11 de la DMEM, obtenidos para cada tipo de señal, y el valor del tercio de octava en el que la energía acústica es máxima.

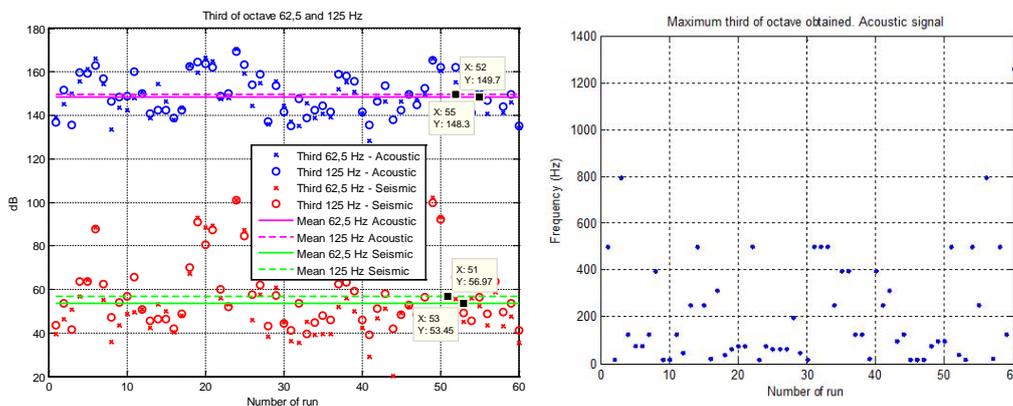


Figura 3

Figura 7. Valor de energía en los tercios 62,5 Hz y 125 Hz para cada medida y tipo de señal (izquierda) y valor del tercio de octava en el que la energía acústica es máxima.

Las principales conclusiones obtenidas del análisis de banda ancha y banda estrecha llevados a cabo en [3] son:

- Las diferencias entre el ruido ambiente medido y el radiado por los cruceros están en torno a 30 dB.
- En la mitad de las pasadas, el valor obtenido para el tercio de 125 Hz es mayor que para el tercio de 62,5 Hz.
- En la mayoría de las pasadas, el tercio con mayor energía es igual o menor de 500 Hz.
- En el 20% de las pasadas el tercio de mayor energía es el centrado en 62,5 Hz ó 125 Hz.
- La mayoría de los tonos se detectan por debajo de 240 Hz, siendo el ancho de banda de interés el comprendido entre 50 Hz y 745 Hz.

2.4. Fuentes contaminantes de energía electromagnética

Las fuentes principales de contaminación electromagnética en el entorno marino son tres:

- Dispositivos de generación eléctrica tipo turbinas de aire y convertidores de energía de las olas.
- Cables submarinos.
- Transporte marítimo.

Dispositivos de generación eléctrica.

Los dispositivos de generación eléctrica o dispositivos de energía renovables generan ruido electromagnético por tres medios:

- Debido a la propia estructura de generación de la energía.



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18- 24 al 26 de octubre

- Debido a los cables submarinos que transportan la energía generada a tierra.
- Debido al tráfico de buques que operan en la zona, sobre todo para las tareas de mantenimiento.

Los campos eléctricos y magnéticos, en sus niveles típicos en el ámbito de la energía renovable marina, se encuentran dentro del rango detectable por algunos organismos marinos electroreceptores y dentro del rango supuestamente detectable para organismos marinos magnetoreceptivos. Se han demostrado efectos de comportamiento en experimentos, tanto para especies que usan el campo magnético para fines de navegación (anguila) como para especies que usan campos eléctricos para detectar presas (elasmobranquios). No hay información disponible de investigaciones sobre posibles efectos del campo electromagnético en los mamíferos marinos.

Por otro lado, no existe información suficiente para evaluar las diferencias entre la transmisión de corriente continua y alterna con respecto a los efectos ambientales de los campos electromagnéticos.

Cables submarinos.

Los cables submarinos se pueden dividir en cables de telecomunicaciones, cables de alto voltaje de corriente continua (HVDC, High Voltage Direct Current) y cables de corriente alterna. Esta última categoría normalmente son cables trifásicos y se dividen en alto voltaje (si exceden 36 kV), medio voltaje (6 kV) y bajo voltaje (hasta 1000 V)

Por otro lado, la técnica HVDC es comúnmente utilizada en el despliegue de cables submarinos, empleándose tres modalidades diferentes: un sólo conductor y el camino de retorno de la corriente a través de tierra, dos cables en paralelo de alto voltaje pero con polaridad opuesta y, finalmente, una variación del primer tipo pero con uno o más hilos conductores utilizados como camino de retorno.

Indicar que los cables submarinos generan tres tipos de influencia. En primer lugar, hay un campo eléctrico que con un conductor aislado y una pantalla metálica puesta a tierra está blindado dentro del cable; en segundo lugar hay un campo magnético fuera del cable y en tercer lugar hay un campo eléctrico inducido que es causado por los cambios en la intensidad del campo magnético de alterna, por el movimiento de conductores como es el agua o los organismos marinos a través del campo magnético o como resultado de las variaciones naturales en el campo geomagnético.

Por ejemplo, un cable de tres conductores separados 66,96 mm y enterrado 0,5 metros genera un campo magnético de 7,1 μ T, 21 μ T y 36 μ T cuando circula una corriente de 100, 300 y 500 amperios, respectivamente, por ellos.

La comparación de los umbrales identificados en la bibliografía con los valores medidos in situ y/o modelados, muestra que las especies magneto y electro receptivas pueden encontrar campos electromagnéticos detectables emitidos por un cable de transmisión de energía en un rango de hasta unos cientos de metros, dependiendo de la especie y las características del cable.

Transporte marítimo.

El transporte marítimo constituye la fuente principal de ruido electromagnético generado por la actividad antropogénica. Los buques generan tanto campos eléctricos como electromagnéticos. Además de los campos que generan los buques por su propia presencia, existen campos tanto eléctricos como magnéticos inducidos. En apartados posteriores se detallan análisis llevados a cabo por SAES sobre medidas realizadas de ruido electromagnético radiado por buques tipo crucero.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

3. EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN EL ENTORNO MARINO.

Existen diferentes métodos para la evaluación del nivel de contaminación acústica en el medio marino. El método más empleado se basa en la medida del nivel de presión o energía sonora a partir de sistemas de medición acústica basados en hidrófonos. En otros métodos se estiman estos niveles a partir de las fuentes sonoras existentes en el área a evaluar.

Se emplean diferentes sistemas de medida con distintas escalas temporales y espaciales en función del sistema utilizado [4]. El rango de combinaciones temporales y espaciales es bastante amplio y se extiende desde mediciones puntuales en un punto espacial concreto (Figura 8), utilizando un sistema hidrofónico atendido por un observador, hasta sistemas de medición automática integrados en vehículos de superficie o submarinos no tripulados que cubren grandes áreas, o sistemas de medición permanente integrados en observatorios marinos cableados que registran los niveles acústicos en una zona específica durante periodos muy prolongados de tiempo.



Figura 8. Sistema hidrofónico inteligente SDHS con capacidad de registro y grabación de medidas acústicas de forma atendida o programada.

En función del tipo de radiación acústica a medir, se emplean diferentes parámetros, como por ejemplo el Nivel de Presión Sonora (SPL, Sound Pressure Level) o Nivel de Exposición Sonora (SEL; Sound Exposure Level) en el caso de ruidos impulsivos o Análisis en Tercios de Octava (OTO. One-Third Octave) o Medidas de Ruido Ambiente (ANM; Ambient Noise Measurement) en el caso de ruidos continuos.

En la actualidad, se tiende a crear procesos automatizados que calculen los parámetros seleccionados en grandes áreas y durante largos periodos de tiempo mediante el empleo de mapas de ruido. Estos mapas incorporan cálculos de niveles acústicos en áreas geográficas que se dividen en celdas, en función de las fuentes generadoras de ruido que tengan influencia sobre cada celda (Figura 9). Algunos mapas tienen en cuenta sólo la contribución del tráfico marítimo, obtenido, por ejemplo en tiempo real a partir de la utilización de sistemas AIS (Automatic Identification System), mientras que otros incorporan otras fuentes como dispositivos de energías renovables o sistemas de exploración de hidrocarburos presentes en la zona. Algunos mapas de ruido se integran en sistemas que incorporan información de la presencia de especies marinas en cada periodo del año y los niveles sonoros que les afectan para determinar posibles daños sobre estas especies.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

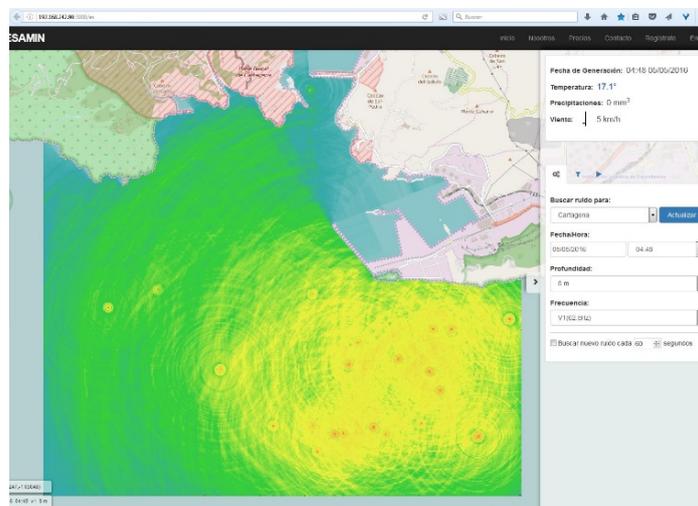


Figura 9. Mapa de ruido en el entorno del Puerto de Cartagena.

Estudios específicos sobre niveles de contaminación acústica en el área marina se muestran en [5] y [6]. En [5], se analizan los patrones de variación de ruido diario y trimestral a lo largo de un año a partir de datos obtenidos en una campaña de medidas en un área de aguas poco profundas en el Mar Mediterráneo, en las proximidades del Puerto de Cartagena (España). Se centra en particular en el análisis de la evolución de los parámetros establecidos en el Descriptor 11 de la DMEM para la evaluación del BEM, aunque adicionalmente incorpora otros tipos de parámetros. En [6] se utiliza el mismo conjunto de datos y se centra el análisis en el ámbito de la frecuencia

Las conclusiones de los estudios muestran que los mayores niveles de contaminación acústica se registran durante el periodo veraniego, cuando se incrementa el tráfico relacionado con actividades de recreo y a lo largo del día en el intervalo entre las 8 y las 16 h, cuando se concentran especialmente las actividades en el entorno portuario. Por otro lado los altos niveles de los parámetros SEL y SPL obtenidos en todos los casos se considera que representan una amenaza para la fauna marina presente en la zona. Del mismo modo, en el caso de los ruidos continuos, se han registrado niveles ANM (Figura 10) y para los tercios de octava centrados en 62,5 Hz y 125 Hz significativamente altos.

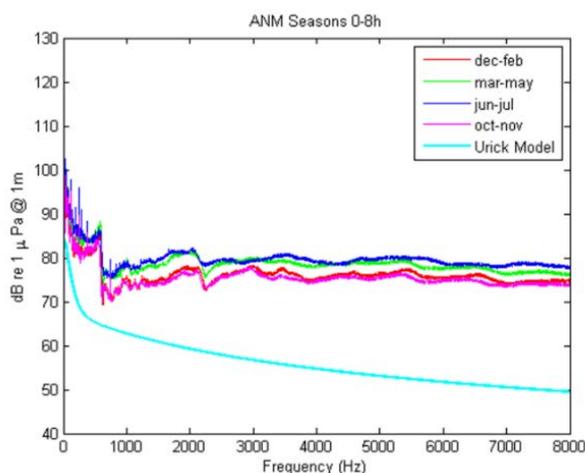


Figura 10. Niveles ANM obtenidos en periodos trimestrales comparados con los niveles referenciados en [1].

4. EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN EL ENTORNO MARINO

Debido a las leyes físicas de atenuación de los campos electromagnéticos radiados por fuentes electromagnéticas, la evaluación de la contaminación electromagnética se realiza a cortas distancias entre la fuente y el sensor. A diferencia de las fuentes acústicas, para las fuentes electromagnéticas no existen modelos estándar de propagación, por lo que los estudios de contaminación en entornos marinos se realiza in situ, a partir de medidas llevadas a cabo utilizando sensores electromagnéticos submarinos.

Así, en [7] se realiza el análisis del ruido electromagnético radiado por cruceros en un entorno portuario en el mar Mediterráneo. En la Figura 11 se muestra la serie temporal de cada una de las componentes de las señales eléctrica y magnética del conjunto de medidas. Además, se muestra para cada medida el valor del módulo del ruido radiado y el valor del módulo del ruido ambiente.

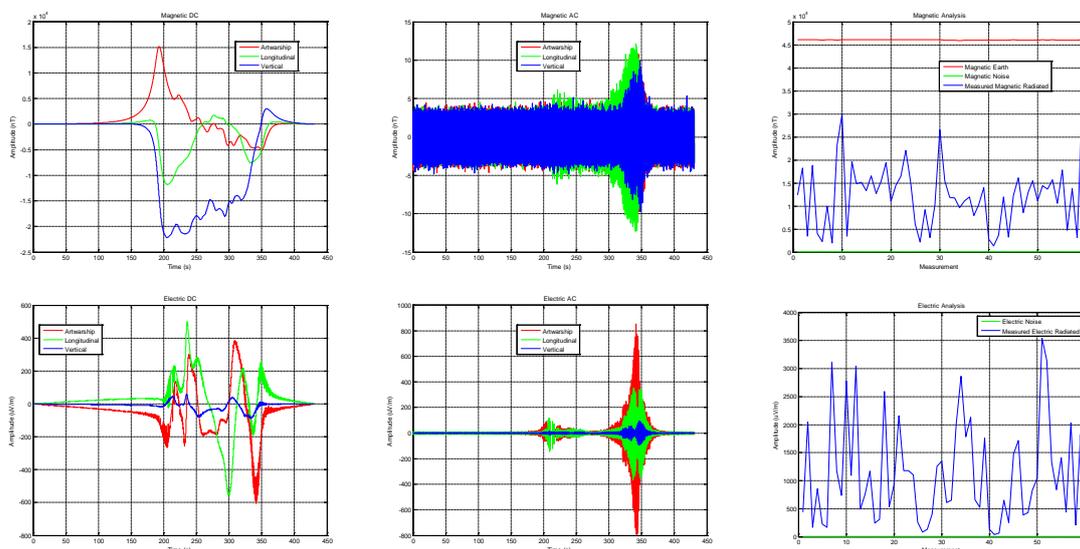


Figura 11. Serie temporal de la componente estática (izquierda) y alterna (centro) de las señales magnéticas (arriba) y eléctricas (abajo) radiadas por buques tipo cruceros y comparación del ruido generado (derecha).

Del análisis realizado en [7] se concluye que:

- El nivel de ruido magnético radiado por buques está en torno al 30% del valor del campo magnético terrestre, llegando al 60% para algunos casos sobre un nivel de ruido ambiente de 1,5 nT.
- El nivel de ruido ambiente eléctrico es inferior a 10 $\mu\text{V/m}$, mientras que el nivel de ruido eléctrico radiado por buques de gran porte es superior en ocasiones a 3000 $\mu\text{V/m}$.

En [8] el análisis del ruido electromagnético emitido por los cruceros es extendido al dominio de la frecuencia, evaluando el ruido electrogmético de banda ancha y estrecha. En la Figura 12 se muestra el análisis de banda ancha, banda estrecha y frecuencias de energía máxima en ambos análisis medidos en señales eléctricas y magnéticas generadas por cruceros.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

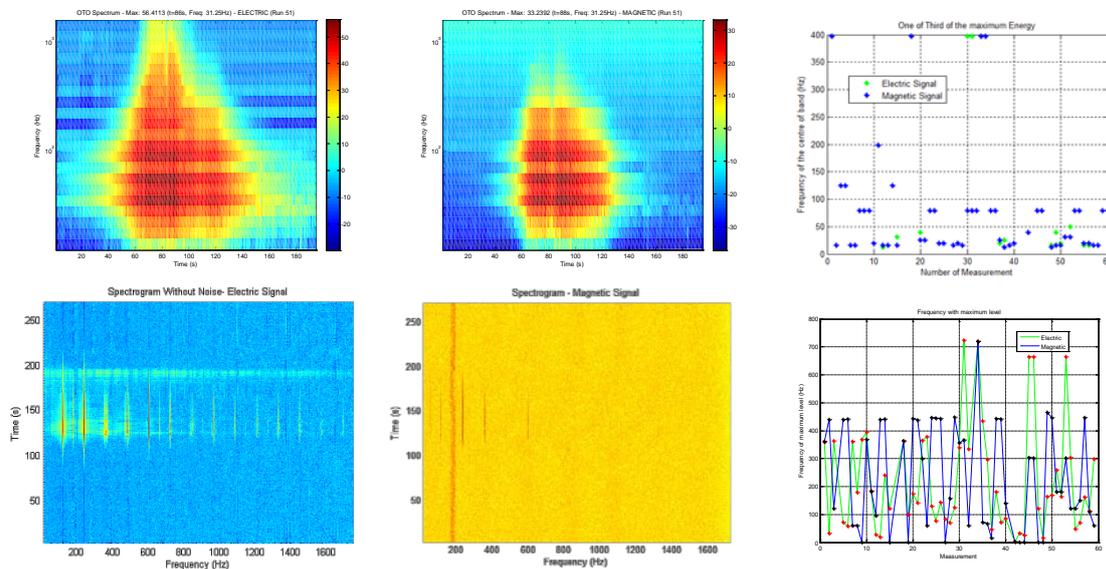


Figura 12. Análisis de señales de banda ancha (arriba) y banda estrecha (abajo) sobre ruido eléctrico (izquierda), ruido magnético (centro) y frecuencias del máximo de energía (derecha).

Del análisis realizado en [8] se concluye que:

- El máximo de energía en banda ancha se encuentra por debajo de 400 Hz para señales eléctricas y magnéticas alternas.
- El máximo de energía en banda estrecha también se encuentra por debajo de 400 Hz para señales eléctricas y magnéticas alternas siendo la frecuencia de 60 Hz y sus armónicos las que presentan mayor energía.

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha resaltado el interés existente en la medida de la contaminación acústica en entornos marinos. Se ha descrito la naturaleza del ruido acústico y las fuentes principales de la contaminación acústica. Por otro lado, la evaluación de la contaminación acústica en un área determinada se puede realizar mediante mapas de ruido o mediante campañas de medida empleando sistemas que incorporan hidrófonos. Asimismo, se han mostrado resultados de mapas sonoros elaborados para el área del puerto de Cartagena así como resultados de análisis de campañas de medidas realizadas in situ ambos llevados a cabo por SAES.

Indicar que la DMEM europea no sólo hace referencia a la contaminación por energía acústica, sino que además referencia otros tipos de energía contaminante, entre las que es de resaltar la energía electromagnética generada principalmente por las actividades humanas en el medio marino. En el presente trabajo se ha detallado la naturaleza de la energía electromagnética, las principales fuentes de contaminación electromagnética y los resultados de campañas de medida y evaluación de la contaminación electromagnética generada por buques de superficie de gran porte.

Debido a la complejidad existente en la medida y modelado de la contaminación electromagnética, su estudio ha sido mucho más limitado que en el caso de los estudios relativos a la contaminación de origen acústico en la que hasta ahora se han centrado principalmente los esfuerzos.



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

REFERENCIAS

- [1] R. J. Urick. Principles of Underwater Sound. McGraw-Hill (1993).
- [2] F. Javier Rodrigo Saura. La contaminación acústica: fuentes e impacto biológico. Las tecnologías de doble uso: la transferencia entre ejército, empresa y universidad. CUD. Julio 2014.
- [3] E. Moya-Rivas, F. Javier Rodrigo-Saura, A. Sanchez-Garcia. Stand out characteristics of acoustic and seismic fields emitted by cruise ships in the Mediterranean Sea. UAC 2015, Crete, Greece 22-26 June 2015.
- [4] J.L. Miksis-Olds, B. Martin, P.L. Tyack. Exploring the Ocean trough soundscapes. Acoustics Today, Volume 14, Issue 1, Spring 2018, pp: 26-34.
- [5] A. Sánchez-García, F. Rodrigo-Saura, E. Moya-Rivas. Analysis of the daily and seasonal variation patterns of underwater acoustic ambient noise in the Mediterranean Sea. In Proceedings of the 3rd International Conference on Underwater Acoustics (UACE), Crete (Greece), June 2015.
- [6] F. Rodrigo-Saura, A. Sánchez-García, E. Moya-Rivas. Long-term variation of the frequency domain background noise in a shallow water area in the Mediterranean Sea. In Proceedings of the 4th International Conference on Underwater Acoustics (UACE), Skiathos (Greece), September 2017. ISSN: 2408-0195
- [7] F. Javier Rodrigo-Saura, A. Sanchez-Garcia. Main characteristics of the MIRS measured Electric and Magnetic underwater radiations emitted by cruise ships in the Mediterranean Sea. MAST EurAsia 2014, Istanbul, Turkey 20-22 May 2014.
- [8] F. Javier Rodrigo-Saura, A. Sanchez-Garcia. Stand out characteristics of electric and magnetic fields emitted by cruise ships in the Mediterranean Sea. MARELEC 2015, Philadelphia, USA 16-19 June 2015.