



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos



CARRERA: Doctorado de la UBA, Especialidad Ciencias de la Atmósfera y los Océanos					
ASIGNATURA: FUNDAMENTOS DE ACUSTICA SUBMARINA					
Año: 2017			Cuatrimestre: Segundo		
CÓDIGO DE LA CARRERA: 56 - Doctorado y Posgrado			CÓDIGO DE LA MATERIA:		
APROBADO POR RESOLUCIÓN Nº: CD 2637/08			Puntaje Asignado:		
CARÁCTER DE LA ASIGNATURA				PROFESORES	
REGIMEN		HORAS DE CLASE			Silvia Blanc 1 Docente Auxiliar con experiencia y formación en Acústica Submarina
		Por Semana		Total	
Cuatrimestral	x	Teóricas	4	128	
		Prácticas	4		
Bimestral		Laboratorio de computación			
		Laboratorio de fluidos			
Intensivo		Trabajo de campo			
		Seminarios			
ASIGNATURAS CORRELATIVAS PRECEDENTES					
Trabajos Prácticos Aprobados			Asignaturas Aprobadas		
			Matemática I, II, III y IV; Probabilidades y Estadística; Física I, II y III;		

OBJETIVO GENERAL: Posibilitar la adquisición de un conocimiento global, de carácter teórico-experimental, de las características dominantes de la propagación acústica submarina y su interacción con los contornos (lecho marino, superficie libre del mar y elementos de volumen presentes en el océano).

Introducir a los estudiantes de la Licenciatura en Oceanografía en el área de la Acústica Submarina a fin de que puedan incluirla como una valiosa herramienta de la Oceanografía en el desarrollo futuro de sus actividades profesionales.

Incentivar en estudiantes de otras carreras científico-técnicas (física, ingeniería electrónica, computación, biología, geofísica, geología) el conocimiento de conceptos, metodologías, formulaciones, técnicas de medición y desarrollo de modelos, aplicables en proyectos multidisciplinarios de investigación científica del medio marino.

DESTINATARIOS:

Este curso está dirigido a todos aquellos profesionales vinculados a las siguientes disciplinas y áreas temáticas: oceanografía, física, química, biología, ecología, ciencias ambientales, geología e ingeniería; monitoreo ambiental, evaluación, planificación y manejo de recursos naturales. Sin embargo, se recomienda y se considera muy conveniente que los cursantes estén familiarizados con el análisis vectorial.



1. Fundamentos:

Los océanos son esencialmente opacos a la transmisión de ondas electromagnéticas. Sin embargo, son prácticamente “transparentes” a la transmisión de ondas acústicas, contrariamente a lo que ocurre con la atmósfera de la Tierra.

En el medio marino, el sonido puede utilizarse tanto para la comunicación como para la observación, monitoreo, localización e identificación de objetos, organismos, contornos o sucesos sumergidos en él.

El sonido en el océano puede viajar a grandes distancias con muy poca atenuación, dependiendo de la frecuencia de la onda sonora y de las condiciones ambientales en el océano. En consecuencia, es posible examinar un gran volumen de agua del mar con técnicas acústicas en períodos de tiempo mucho más cortos que los tiempos requeridos por cualquier otra metodología tal como el muestreo biológico, la pesca con redes o la pesca de arrastre. Por otra parte, el sonido es asimismo el mecanismo usado por muchos organismos (tales como algunos mamíferos marinos) para comunicarse y para detectar sus presas.

La propagación de sonido en el mar es un tema importante e interesante desde un enfoque dual (civil y militar), por su condición de “herramienta tecnológica” en la solución de problemas científicos abordados por la oceanografía y su uso en operaciones navales en el mar. Las ventajas derivadas del conocimiento del océano como un medio acústico son numerosas y relevantes. En muchos casos, la Acústica Oceanográfica ha actuado como catalizador de desarrollos tecnológicos asociados a la necesidad de efectuar mediciones *in-situ*, particularmente en las últimas décadas. Por otra parte, el advenimiento de los avances en el campo de la computación y de la ingeniería electrónica han contribuido muy positivamente a la implementación de técnicas acústicas aplicables a la oceanografía, biología marina, geología marina, química, etc.

2. Propósitos:

Progresar, “crecer” en el conocimiento científico del océano es el objetivo común de investigadores que desarrollan sus actividades de I+D desde muy diversas áreas, aplicándolas al medio marino con diferentes objetivos específicos. En efecto, el carácter intrínsecamente multidisciplinario del medio marino, conduce a, o más aún, justifica la participación simultánea de profesionales provenientes de diferentes disciplinas, cuya formación académica original haya sido adquirida en alguna ciencia básica, exacta o natural, en alguna rama de la ingeniería, o en otra carrera científico-técnica, y cuya área de trabajo actual ya no tenga límites tan definidos.

En tal sentido, el presente curso de posgrado tiene el propósito de poner a disposición de los estudiantes algunos tópicos bajo estudio en el área de la Acústica Submarina de tal forma que al finalizar el mismo estén en condiciones de:

- Por un lado, acceder a ciertas herramientas provistas por esta disciplina para el sensado, monitoreo y comunicación en el océano.
- Por otra parte, tomar conciencia del rol relevante que tienen las mediciones controladas de variables oceanográficas, en su carácter de datos de entrada (*input*) a los modelos



acústicos que permiten predecir la propagación y la interacción del sonido con las inhomogeneidades propias del medio marino.

3. Objetivos:

- Capacitar a los estudiantes en aspectos teóricos y experimentales de la disciplina Acústica Submarina, con un enfoque multidisciplinario.
- Enfatizar las aplicaciones de ciertas metodologías y técnicas usadas para obtener información del océano a través del sonido.
- Promover la participación de los estudiantes en mini-proyectos de I&D en el área (tales como desarrollo de *software ad-hoc* para procesamiento de señales acústicas, mediciones electroacústicas en el laboratorio y/o en el mar).
- Ilustrar el desarrollo de actividades de I&D en el área incluyendo exposiciones y participaciones de diversos investigadores que trabajan en el área actualmente.

4. Contenidos:

1. El océano como medio acústico.	<p>Introducción. Notas históricas. Problemas directo e inverso: Acústica Submarina y Oceanografía Acústica. Dependencia de la temperatura con la profundidad. Perfiles típicos. Concepto de termoclina. Profundidad de napa acústica. Velocidad de sonido en el mar. Fórmulas empíricas. Criterio acústico para distinguir entre aguas profundas y poco profundas. Sistemas (<i>software</i>) que proveen información sobre Velocidad de Sonido.</p> <p>COMENTARIO: Para que la comunidad científica siga avanzando en la investigación del interior del mar es preciso trabajar en forma interdisciplinaria. Se insistirá en la necesidad de trabajar en la resolución de los así llamados, problemas "directo" (que plantea la Acústica Oceanográfica), en el que los datos experimentales in-situ se consideran datos de entrada para la predicción de las características de la propagación acústica; e "inverso" (planteado por la Oceanografía Acústica) en el cual las mediciones acústicas en el mar constituyen un "dato de entrada" para la estimación de los parámetros y propiedades físicas y químicas, como asimismo, del comportamiento de los organismos biológicos marinos.</p>
2. Definiciones básicas, unidades y niveles de referencia.	<p>Unidades usadas en Acústica Submarina. Equivalencias. Decibel acústico. Definiciones y conceptos básicos de magnitudes utilizadas en Acústica Submarina. Presión acústica. Impedancia acústica. Intensidad y Potencia acústicas. Densidad de Energía Acústica. Densidad de Flujo de Energía. Nivel de una Señal. Nivel de Banda y Nivel Espectral. Relaciones entre las magnitudes.</p> <p>COMENTARIO: Se enfatizará el uso de unidades internacionales estándar. Se presentarán valores numéricos típicos para rangos y escalas a fin de dar idea del "tamaño de los acontecimientos acústicos en el mar", en términos de energía y potencia acústicas.</p>
3. Física de la propagación del so-	<p>Concepto de fluido, fluidos ideales y reales. Fluidos compresibles e incompresibles. Propiedades mecánicas del medio. Ecuación de con-</p>



nido.	<p>tinuidad. Ecuación de Euler. Campo vectorial de velocidad de las partículas del fluido. Ecuación de movimiento (Navier-Stokes). Ley de Hooke. Sonido. Presión. Presión acústica. Densidad. Elasticidad. Potencial acústico. Campo acústico. Acústica Ondulatoria. Ondas acústicas, homogéneas (compresionales o longitudinales, y transversales o de corte) e inhomogéneas. Ondas progresivas y estacionarias. Ecuación de onda, sin y con fuentes (Ec. de D'Alambert y de Poisson, respectivamente). Métodos de resolución: Función de Green, Método de Imágenes. Condiciones de Contorno. Ondas armónicas. Ecuación de Helmholtz. Frentes de onda planos, cilíndricos y esféricos.</p> <p>COMENTARIO: Se usarán animaciones virtuales del movimiento de partículas en un fluido a fin de esclarecer conceptos relacionados con la propagación de ondas. Se enfatizará el papel fundamental de los conceptos de densidad y elasticidad. La inclusión de este material tiene por objetivo insistir en la comprensión de los fenómenos físicos involucrados en la propagación de sonido más allá de la complejidad de las herramientas matemáticas utilizadas en su descripción rigurosa. A título de Apéndices se revisarán conceptos de gran utilidad: Derivada Total, parcial y convectiva. Teorema de Gauss. Identidades de Green.</p>
4. Acústica geométrica.	<p>Rango de validez. Ecuación de la Eikonal. Ley de Snell generalizada. Trazado de Rayos. Casos de isovelocidad, gradientes positivo y negativo. Combinaciones.</p> <p>COMENTARIO: Se explorarán los fundamentos de los modelos basados en el trazado de rayos acústicos como aproximaciones prácticas a la solución de la Ecuación de Onda y algunas de sus aplicaciones. Se utilizarán software interactivo para visualizar trazado de rayos, zonas de sombra y de penumbra acústica.</p>
5. Instrumentos acústicos	<p>Fuentes sonoras y receptores. Cargas explosivas, <i>sparkers</i>, <i>boomers</i>, cañones de aire. Rangos de frecuencia de operación. Fundamentos sobre el comportamiento de sistemas eléctricos y mecánicos oscilantes. Transductores electrostrictivos y magnetostrictivos. Índice de Directividad en transmisión y recepción. Factor de Directividad. Relación entre el Nivel de fuente, la potencia eléctrica y el Factor de Directividad. Arreglos de transductores. Arreglo lineal de elementos igualmente equiespaciados. Arreglo lineal continuo. Arreglo plano circular. Arreglos acoplados. Teorema del Producto. <i>Shading</i>. Ganancia de un arreglo. Nociones de transductores paramétricos. Eco-sondas monohaz y multihaz, sonares, <i>pingers</i>, <i>transponders</i>. Procesamiento de señales ecoicas. Efecto Doppler. Aplicación a los ADCP (<i>Acoustic Doppler Current Profilers</i>): Perfiladores de Corriente que operan por Efecto Doppler). Cavitación.</p> <p>COMENTARIO: Se describirán los procesos de diseño, construcción y comportamiento de los arreglos de transductores, proveyéndose ejemplos de arreglos fijos, desplegados y arriables para usos civiles y militares. Se presentará un panorama de diversos tipos de fuentes sonoras y sus aplicaciones a distintos campos de la oceanografía con ejemplos sobre actividades de carácter experimental <i>in-situ</i>.</p>
6. Sistemas	<p>Consideraciones básicas. Acronismo SONAR. Definición de los</p>



SONAR.	<p>parámetros sonar dependientes del equipo, del medio y del blanco. Combinaciones de parámetros: Nivel de Eco, Figura de Mérito. Casos activo y pasivo. Sistemas sonar monoestático y biestático. Efectos Doppler. Dispersión geométrica (<i>spreading</i>); simetrías esférica y cilíndrica. Atenuación. Absorción de sonido. Causas físicas. Coeficiente de Absorción Logarítmico. Dependencia con la frecuencia y la profundidad. Rango de transición entre el dominio de la dispersión geométrica y el de la absorción. En el parámetro sonar Pérdidas por Transmisión para distintas simetrías. Ecuaciones sonar. Aplicaciones: Predicción de alcances y diseño de sonares.</p> <p>COMENTARIO: Se discutirán exhaustivamente las diferentes causas de pérdida de energía acústica durante la propagación de sonido en el océano (dispersión geométrica, fricción, scattering sobre diferentes blancos). Algunos de los parámetros SONAR requieren mucha atención pues cada uno de ellos constituye todo un campo de investigación y diversos tópicos asociados serán sugeridos a los estudiantes para el desarrollo de trabajos específicos los cuales serán tenidos en cuenta para la evaluación final de la materia.</p>
7. Canales sónicos en aguas profundas y poco profundas	<p>Aguas profundas: Canales de superficie (<i>Mixed layers</i>). Rayo límite. Distancia de salto y ángulos de inclinación. Cálculo de Pérdidas por Transmisión con un modelo simple. Rango de transición. Coeficiente de Pérdidas. Canales SOFAR. Cáusticas y zonas de convergencia. Modelación.</p> <p>Aguas poco profundas: Transmisión de sonido a grandes distancias en una guía de onda. Modos Normales. Frecuencia de corte. Condiciones de contorno: superficie libre del mar y fondo oceánico perfectamente rígido. Modelación.</p>
8. Interacción de ondas acústicas con interfaces planas.	<p>Concepto de los fenómenos físicos de: dispersión, dispersión acústica (scattering), reflexión, refracción, difracción. Coeficientes de reflexión y transmisión, de presión, intensidad y potencial acústico, de ondas planas incidentes sobre interfaces planas. Conservación de la energía acústica en términos de los Coeficientes de reflexión y transmisión. Ángulo crítico, de intromisión y de inclinación.</p> <p>COMENTARIO: Se incluirán discusiones sobre las técnicas acústicas y oceanográficas actualizadas para mediciones <i>in-situ</i> de parámetros acústicos y de propiedades físicas de los sedimentos marinos.</p>
9. Nivel de Ruido subacuático.	<p>Tipos de ruido: ambiental, irradiado y propio. Fuentes de ruido ambiente. Causa predominante en cada banda de frecuencia (0.5 Hz –100 kHz) en aguas profundas. Fuentes de ruido en aguas poco profundas.</p> <p>COMENTARIO: Los sonares deben ser capaces de detectar señales (provenientes de un blanco) que compitan con el ruido propio del océano. De ahí que un conocimiento cuantitativo del Nivel de Ruido Ambiente contribuya críticamente a la precisión con que puedan resolverse las Ecuaciones SONAR, en su carácter de dato de entrada a las mismas. Se presentarán espectrogramas de terremotos, ondas de superficie, ruptura de glaciares, tráfico de buques, presencia de organismos marinos, actividades ingenieriles en el mar, etc.</p>
10. Reverberación.	<p>Concepto de dispersión acústica y reverberación. Fuerza de Disper-</p>



	<p>sión y de Retro-Dispersión (<i>backscattering</i>). Dispersión de Volumen y de Superficie. Capa Dispersora profunda. Dispersión por burbujas. Fuerza de Blanco.</p> <p>COMENTARIO: Se discutirán y analizarán los orígenes de la reverberación acústica en el océano como, asimismo, sus efectos sobre la detección sonar. Se efectuarán comparaciones con los efectos del ruido ambiente.</p>
--	---

5. Modalidad

- **Modalidad didáctica:** Se recomienda especialmente la asistencia a las clases si bien no es obligatoria. En ellas se proporcionará material de estudio, análisis,

Distribución horaria: 8 horas semanales repartidas en dos días durante un cuatrimestre. Se estima un 50% del tiempo dedicado a clases teóricas y el otro 50% a clases prácticas (resolución de problemas, exposiciones de temas específicos por especialistas y estudiantes, eventual participación en mediciones electroacústicas según el perfil académico de cada estudiante).

- **Modalidad de evaluación:** Será individual y obligatoria para aquellos que deseen acreditar el curso al Programa de Doctorado de la UBA.

La aprobación de los Trabajos Prácticos requerirá la realización de 2 (dos) exámenes parciales: uno, "a libre abierto" (o sea, con posibilidad de acceso a apuntes de clase, *papers*, libros sugeridos) de carácter individual; otro parcial, domiciliario, de carácter grupal (que puede incluir el análisis de un artículo publicado en revistas científicas de la especialidad, una implementación de códigos para calcular algún parámetro acústico, una revisión bibliográfica, una optimización de algún algoritmo, entre otros requerimientos). En ambos casos, se evaluarán los resultados obtenidos para el ejercicio y/o problema a resolver, el enfoque usado, la claridad de la presentación y a la defensa oral del examen, en caso de ser solicitada.

La aprobación final de la materia implicará rendir un Examen final que integre y sintetice los conocimientos nuevos adquiridos en el curso.

- **Certificados:** se otorgarán certificados de aprobación de los Trabajos Prácticos y/o de Examen Final a estudiantes externos a la FCEyN de la UBA que lo soliciten y que hayan cumplimentado la aprobación de los mismos con la modalidad expuesta en el ítem anterior. A los estudiantes de Doctorado de la FCEyN de la UBA, se les consignará la aprobación de los Trabajos Prácticos y del Examen Final en sus Libretas Universitarias.

6. Recursos



Podrán consultar la biblioteca y hemeroteca con material en el área de Acústica Submarina del Dpto. Propagación Subacua de la Dirección de Investigación de la Armada y UNIDEF (CONICET/MinDef).

7. Bibliografía Fundamental

La bibliografía básica y de consulta de este curso se consigna a continuación por orden alfabético. Se trata, mayoritariamente, de libros de texto con las formulaciones teóricas rigurosas de los complejos procesos acústicos que tienen lugar en el medio marino con la descripción físico-matemática de los mismos. Por ello, sus fechas de publicación corresponden a más de seis décadas sucesivas.

Por otra parte, se utilizarán artículos publicados en revistas científicas de la especialidad, con *referato* anónimo, sobre tratamientos actualizados de diversos tópicos de Acústica submarina, introducidos a los alumnos en el presente curso (tales como Journal of the Acoustical Society of America, Acta Acustica united with Acustica, Acoustic Letters, ICES Journal of Marine Sciences, entre otras).

- Abramowitz, M. & Stegun, I.A., Handbook of Mathematical Functions, (Dover Publications, Inc., New York) (1972).
- Batchelor, G.K., An Introduction to Fluid Dynamics, (Cambridge University Press) 1970).
- Brekhovskikh, L.M., Waves in Layered Media. Second Edition, (Academic Press) (1980).
- Caruthers J.W., Lectures on Marine Acoustics, (College Station, Texas) (1971).
- Clay, C.S. & Medwin, H., Acoustical Oceanography: Principles and Applications, (John Wiley & Sons) (1977).
- Etter, P.C., Underwater Acoustic Modeling and Simulation. Third Edition, (Spon Press) (2003).
- Ewing, W.M., Jardetzky, W.S. & Press, F., Elastic Waves in Layered Media, (McGraw-Hill Book Company) (1957).
- Jensen, F.B., Kuperman, W.A., Porter, M.B. & Schmidt, H., Computational Ocean Acoustics, (AIP Press) (1994).
- KRUPP ATLAS ELEKTRONIK, Fundamentals of Hydroacoustic Technology, (Krupp Atlas-Elektronik Bremen).
- Kuperman, W.A., Introduction to Ocean Acoustics, (Marine Physical Laboratory) (2013).
- Landau, L.D. & Lifchitz, E.M., Mécanique des Fluides, (Editions Mir) (1971).
- MacLennan, D.N. & Simmonds, E.J., Fisheries Acoustics, (Chapman & Hall) (2010).
- MARINE NATIONALE Détection Sous Marine, Aide Mémoire D'Acoustique Sous-Marine, (Laboratoire D.S.M. DU Brusc) (1968).
- Medwin, H. & Clay, C.S., Fundamentals of Acoustical Oceanography, (Academica Press) (1998).
- Medwin, H., Sounds in the Sea, (Cambridge University Press) (2005).



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos



- Officer, C.B., Introduction to the Theory of Sound Transmission With Application to the Ocean, (McGraw-Hill Book Company, Inc) (1958).
- Pierce, A.D., Acoustics, (Acoustical Society of America) (1991).
- Santaló, L.A., Vectores y Tensores con sus aplicaciones. 14a Edición, (EUDEBA) (1993).
- Tolstoy & Clay, C.S., Ocean Acoustics, (McGraw-Hill) (1966).
- Tucker, D.G. & Gazey, B.K., Applied Underwater Acoustics, (Pergamon Press) (1966).

- Urban, H.G., Handbook of Underwater Acoustic Engineering, (STN ATLAS Elektronik GmbH) (2002).
- Urick, R.J., Ambient Noise in the Sea, (Undersea Warfare Technology Office) (1984).
- Urick, R.J., Principles of Underwater Sound, (McGraw-Hill Book Company) (1975).

Silvia Blanc
Departamento de Propagación Subacua – Jefe –
Dirección de Investigación de la Armada (DIIV)
UNIDEF (CONICET/MinDef)