



**FACULTAD DE OCEANOGRAFÍA, PESQUERÍA, CIENCIAS ALIMENTARIAS Y
ACUICULTURA**

**CRUCEROS DE EVALUACIÓN DE RECURSOS PELÁGICOS A TRAVES DE LA
APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA HIDROACÚSTICA**

**Línea de investigación:
Procesamiento digital de imágenes y señales**

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de
Ingeniero Pesquero

Autor

Cuadros Caballero, Gustavo Renato

Asesor

Gutiérrez Torero, Mariano Sergio

ORCID: 0000-0001-8500-717X

Jurado

Rodenas Seytuque, Pedro José

Gherzi Belaúnde, Jorge Ricardo

Blas Ramos, Walter Eduardo

Lima - Perú

2025



CRUCEROS DE EVALUACIÓN DE RECURSOS PELÁGICOS A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA HIDROACÚSTICA

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.imarpe.pe Fuente de Internet	2%
2	revistas.imarpe.gob.pe Fuente de Internet	2%
3	boletin.inveemar.org.co Fuente de Internet	2%
4	creativecommons.org Fuente de Internet	2%
5	biblioimarpe.imarpe.gob.pe Fuente de Internet	2%
6	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	1%
7	www.gob.pe Fuente de Internet	1%
8	www.gob.mx Fuente de Internet	1%
9	seafood.media Fuente de Internet	1%
10	biblioimarpe.imarpe.gob.pe:8080 Fuente de Internet	1%
11	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
12	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%



**FACULTAD DE OCEANOGRAFÍA, PESQUERÍA, CIENCIAS ALIMENTARIAS Y
ACUICULTURA**

**CRUCEROS DE EVALUACIÓN DE RECURSOS PELÁGICOS A TRAVES DE LA
APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA HIDROACÚSTICA**

**Línea de Investigación:
Procesamiento digital de imágenes y señales**

Suficiencia Profesional para optar al Título Profesional de Ingeniero Pesquero

Autor:

Cuadros Caballero, Gustavo Renato

Asesor:

Gutiérrez Torero, Mariano Sergio

ORCID: 0000-0001-8500-717X

Jurado:

Rodenas Seytuque, Pedro José

Ghersí Belaunde, Jorge Ricardo

Blas Ramos, Walter Eduardo

Lima – Perú

2025

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Milar y Gloria quienes han sido mi inspiración y mi mayor apoyo a lo largo de este camino académico. Su amor, aliento y sabios consejos han sido mi motor para alcanzar mis metas.

A mi esposa Kris Flores por su incondicional apoyo y comprensión durante los momentos difíciles. Su presencia ha sido mi refugio en los días de incertidumbre, por haberme regalado la dicha de ser padre de un hermoso bebe Enzo.

Gustavo Cuadros

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que apoyaron esta tesina. Especialmente al Dr. Mariano Gutiérrez, por su orientación y dedicación, y al Dr. Ramiro Castillo, Dr. Rodolfo Cornejo, Biólogo Luis La Cruz y compañeros de IMARPE, por su valiosa colaboración durante las discusiones en crucero. También agradezco profundamente a mi familia por su amor y apoyo incondicional, que fueron mi mayor inspiración. ¡Muchas gracias a todos!

ÍNDICE

RESUMEN	VI
ABSTRACT.....	VII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Trayectoria del autor	5
1.1.1 Formación Académica.....	5
1.1.2 Experiencia Profesional.....	7
1.2 Descripción de la Entidad	9
1.2.1 Datos Generales de la Entidad.....	9
1.3. Organigrama de la Entidad.....	10
1.4. Áreas y funciones desempeñadas.....	12
II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA.....	15
2.1 Conceptos, unidades y símbolos en acústica submarina	15
2.1.2 Ecosonda.....	15
2.1.3 Sección transversal de dispersión (σ) y retro-dispersión (σ_{bs})	18
2.1.4 Coeficientes de volumen y área de (retro)dispersión	21
2.1.5 Target Strength (TS) o Fuerza de Blanco.....	22
2.1.6 Ecointegración	24
2.1.7 Coeficientes de volumen y área de retrodispersión	24
2.1.8 Biomasa y abundancia	26
2.2 Métodos de estratificación	27
2.2.2 Estimación por áreas isoparalitorales	27
2.2.3 Ecointegración por cuadrados estadísticos	29
2.2.4 Método de estratificación por transectos	30
2.3 Diseños de muestreo.....	32

III.	APORTES MAS DESTACABLES A LA ENTIDAD	34
3.1	Rigor y precisión en las estimaciones acústicas de stock de recursos pelágicos	34
3.2	Conocimiento del estado situacional de los recursos pelágicos, continentales y mesopelágicos para la gestión pesquera	35
3.3	Transferencia de Conocimientos:.....	36
IV.	CONCLUSIONES	44
V.	RECOMENDACIONES.....	46
VI.	REFERENCIAS.....	48
VII.	ANEXOS	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama del Instituto del Mar del Perú - IMARPE.....	11
Figura 2 Organigrama de la Dirección general de Investigaciones en Hidroacústica, Sensoramiento Remoto y Artes de Pesca (DGHISA).....	11
Figura 3 Diagrama de sistemas sonar activos: ecosonda, sonar y componentes de ecosonda digital con ecograma e insonificación.....	16
Figura 4 La frecuencia alta detecta especies pelágicas, y la baja, mesopelágicas en profundidades mayores a 200 m.	17
Figura 5 El transductor emite un pulso sinusoidal; las ondas reflejadas se propagan en todas direcciones.	18
Figura 6 A la izquierda, onda de sonido dispersa; al centro, retrodispersión en dirección opuesta; a la derecha, peces en volumen, retrodispersión total.....	20
Figura 7 Principio de eointegración: se suman los ecoregistros de varios Pings y se dividen entre el total de emisiones.....	25
Figura 8 Grillado del mar peruano según áreas isoparalitorales de 10 x 30 mn paralelas a la línea de costa. Cada área tiene una codificación única para su identificación.	28
Figura 9 Grillado del mar peruano según áreas de 30 x 30 minutos paralelas a la línea de longitud y latitud y perpendiculares entre sí.	29
Figura 10 Transectos sistemáticos perpendiculares a la costa paralelos entre sí durante un crucero típico de evaluación.	33

RESUMEN

En el Instituto del Mar del Perú, el asistente de investigaciones en hidroacústica desempeña diversas funciones, que incluyen la operatividad de equipos hidroacústicos, el procesamiento de datos hidroacústicos y la participación en operaciones científicas en el mar durante cruceros, prospecciones y monitoreos de investigación de recursos pelágicos y demersales. Las actividades abarcan el procesamiento de datos para estimar biomasa, la participación en cruceros y la elaboración de trabajos científicos e informes técnicos, demostrando capacidad técnica, desempeño, eficiencia y compromiso con los objetivos institucionales. El procesamiento de información acústica se realiza utilizando el software Echoview el cual permite etiquetar cardúmenes de diversas especies, exportar sus características y generar resultados sobre ubicación geográfica, profundidad media, altura media y densidad acústica promedio de cada cardumen detectado. Los análisis generan bases de datos finales para cada frecuencia acústica de estudio, que incluyen información sobre celdas, regiones, regiones por celdas y macrozooplancton detectado acústicamente. Sirviendo en el análisis para determinar la distribución espacial y vertical de los recursos pesqueros, así como para estimar la biomasa acústica de las especies evaluadas. El análisis se apoya en herramientas como cartas de contornos y mapas de distribución, que permiten visualizar la presencia y abundancia relativa de las especies en diferentes áreas geográficas y profundidades del mar peruano. En resumen, el trabajo como asistente de hidroacústica no solo contribuye al conocimiento científico sobre los recursos pesqueros, sino que también apoya la gestión sostenible de estos recursos en el contexto de la pesca peruana, una de las más importantes del mundo.

Palabras clave: hidroacustica, biomasa, cruceros, distribuciones

ABSTRACT

At the Marine Institute of Peru, the hydroacoustic research assistant performs various functions, including the operation of hydroacoustic equipment, hydroacoustic data processing, and participation in scientific operations at sea during cruises, surveys, and monitoring of pelagic and demersal resource investigations. Activities include processing data to estimate biomass, participating in cruises, and preparing scientific papers and technical reports, demonstrating technical capability, performance, efficiency, and commitment to institutional objectives. Acoustic information processing is carried out using Echoview software, which allows the tagging of schools of various species, exporting their characteristics, and generating results on the geographical location, mean depth, mean height, and average acoustic density of each detected school. The analyses generate final databases for each acoustic study frequency, which include information on cells, regions, regions by cells, and acoustically detected macrozooplankton. This aids in the analysis to determine the spatial and vertical distribution of fishery resources, as well as to estimate the acoustic biomass of the evaluated species. The analysis is supported by tools such as contour charts and distribution maps, which allow visualization of the presence and relative abundance of species in different geographical areas and depths of the Peruvian sea. In summary, the work as a hydroacoustic assistant not only contributes to scientific knowledge about fishery resources but also supports the sustainable management of these resources in the context of Peruvian fisheries, one of the most important in the world.

Keywords: hydroacoustics, biomass, cruises, distributions

I. INTRODUCCIÓN

El presente informe tiene como objetivo detallar las funciones y actividades asignadas en el cargo de asistente de investigaciones en hidroacústica en la Dirección General de Investigaciones en Hidroacústica, Sensoramiento Remoto y Artes de Pesca del Instituto del Mar del Perú (IMARPE). Las principales funciones y responsabilidades desempeñadas consistieron en el desarrollo de actividades técnicas y científicas para la aplicación de evaluación directa de recursos pelágicos con tecnología hidroacústica, herramientas de programación y equipos de sonar (ecosondas científicas).

La gestión efectiva de cualquier pesquería depende crucialmente del conocimiento preciso sobre la abundancia, distribución y estructura de edad de las poblaciones objetivo, así como de parámetros claves de su ciclo de vida, incluyendo el éxito de reclutamiento, las tasas de crecimiento y la mortalidad natural (Merrick, 2017). Esta información, obtenida actualmente de diversos estudios y combinada con datos de capturas comerciales, modelos estadísticos de evaluación de poblaciones y estimaciones directas usando la hidroacústica, permiten estimar la abundancia actual y predecir la trayectoria futura de cada población (Zwolinski et al., 2014). Además, existe un creciente consenso en la comunidad científica sobre la reinterpretación de la tasa de explotación que logra el rendimiento máximo sostenible o sus siglas en inglés (MSY) como un límite superior en lugar de un objetivo de gestión. Esta perspectiva reconoce la necesidad de reducir las tasas de explotación en general para garantizar la salud a largo plazo de las poblaciones de peces y los ecosistemas marinos, lo que puede promover una gestión más efectiva y proteger mejor los océanos y sus recursos (Worm et al., 2009). Los equipos acústicos se han convertido en herramientas fundamentales para localizar cardúmenes de peces y explorar el fondo marino. Su precisión y eficiencia los han convertido en un elemento indispensable para cualquier embarcación

pesquera. Del mismo modo, la ciencia pesquera ha adoptado ampliamente las aplicaciones acústicas para evaluar la abundancia, distribución y comportamiento de peces, plancton y otros organismos marinos. Estas herramientas también son utilizadas para monitorear el desempeño de los equipos de muestreo, garantizando la obtención de datos precisos y confiables (Walsh et al., 2001, citado en Fernández et al., 2002).

La acústica submarina combina la utilización de propiedades físicas de la transmisión de sonido en el agua de mar con conocimientos biológicos (comportamiento, fisiología) y oceanográficos para la detección y evaluación de poblaciones marinas. El análisis de los datos recopilados se basa en la estadística y geoestadística para generar resultados sobre la abundancia de las especies en estudio. Esta aplicación es particularmente crucial en la investigación pesquera (Gunderson, 1993, citado en Simmonds y MacLennan, 2005, p. 2). La geoestadística ha contribuido en el estudio de los recursos pesqueros y en especial a la estimación de la biomasa en sitios no muestreados. Esto debido a que la distribución de la densidad de peces en dos puntos cercanos puede presentar autocorrelación espacial (Rivoirard et al., 2000, citado en Vallarta-Zárate et al., 2021). examina la distribución espacial tanto horizontal como vertical de las especies, así como su comportamiento y las relaciones ecológicas que las conectan con el ecosistema. La hidroacústica submarina se utiliza principalmente para estudiar el comportamiento, la distribución y la abundancia de los recursos pesqueros. Los estudios acústicos, realizados a lo largo de líneas de transecto, son una opción eficiente para estimar poblaciones, ya que pueden cubrir grandes áreas en cortos periodos de tiempo y estimar la densidad con poco esfuerzo. También proporcionan información sobre la ausencia de especies, destacando cambios en la distribución y patrones de migración (Georgakarakos et al., 2011, citado en Wassermann y Johnson, 2020).

Los barcos científicos y de pesca comercial, que también recopilan información (ICES, 2007), están equipados con dos tipos principales de sistemas sonar: ecosondas y sonares. Actualmente, todos los sistemas sonar son digitales, reemplazando por completo a los equipos analógicos. Los datos generados por estos dispositivos se almacenan en discos duros y se procesan posteriormente con software especializado. Entre los programas más utilizados se encuentra Echoview, reconocido para el análisis de datos acústicos (Echoview Software Pty Ltd, Hobart, Australia). También existen soluciones de código abierto como ESP3, desarrollado por NIWA, y Echopype, un software basado en Python que permite el procesamiento escalable e interoperable de datos acústicos en formato netCDF, compatible con sistemas de sonar como SIMRAD (Lee et al., 2024; NIWA, 2021). Una diferencia clave entre ecosondas y sonares es el uso del transductor: las ecosondas emiten en una sola dirección fija, normalmente vertical, con un ángulo de apertura típico de 7 grados. En contraste, los sonares pueden cubrir un área de 360 grados, proporcionando un panorama acústico más amplio. Este tipo de ecosondas es crucial para cálculos de biomasa y estudios relacionados (Simmonds y MacLennan, 2005).

En el caso de las embarcaciones científicas del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), durante los cruceros de evaluación hidroacústica, las ecosondas científicas recopilan datos de retrodispersión acústica en formatos RAW. Para el análisis de estos datos, se utilizan programas especializados como Movies+ (Ifremer, Francia), LSSS (MAREC, Noruega), ESP3 (NIWA, Nueva Zelanda), Matecho (IFREMER, Francia), Echopen (IMARPE-IRD, Perú) y Echoview (Myriax, Australia). Sin embargo, en las investigaciones de hidroacústica pesquera en el Perú se utiliza el programa informático Echoview, en la versión 9 (Castillo et al., 2009; Castillo et al., 2021; Cuadros et al., 2024). Durante los cruceros de evaluación hidroacústica de recursos pelágicos en el mar peruano, llevados a cabo por el IMARPE desde 1983 hasta la actualidad, se

determinó la abundancia y distribución de la anchoveta (Gutiérrez, 2002), y otras especies pelágicas de interés, como jurel, caballa, pota o calamar gigante, samasa, bagre, camotillo, vinciguerra, munida, entre otras especies (pez cinta, falso volador) (Castillo et al., 2009; Castillo et al., 2021, Cuadros et al., 2024). Los resultados obtenidos de los cruceros multidisciplinarios en las que se efectúan muestreos acústicos, biológicos y oceanográficos proporcionan una visión sinóptica del ecosistema (variables bióticas y abióticas), recopilando información técnica valiosa en corto tiempo, ya que estas operaciones a gran escala de cobertura geográfica (Tumbes hasta Tacna y desde costa hasta 80 a 100 millas náuticas) se realizan en un período de 4 a 6 semanas (45 a 50 días en promedio) requiriendo recursos como plataformas de investigación, equipos científicos, personal especializado y suministros. La metodología utilizada en los cruceros de evaluación hidroacústica sigue generalmente un diseño rectangular de tipo sistemático paralelo perpendicular a la línea de costa, con el propósito de realizar un esfuerzo de muestreo uniformemente espaciado (Castillo et al., 2009; O'Driscoll et al., 2014; Castillo et al., 2022b).

Toda la información generada en los cruceros de evaluación se convierte en herramientas de gestión esenciales para la toma de decisiones en la pesquería, como por ejemplo para establecer la cuota de pesca para la siguiente temporada de pesca de la anchoveta. Estas herramientas incluyen la elección de tasas de explotación pesquera, la identificación de zonas de pesca y el cálculo del porcentaje de juveniles. Además de comprender las condiciones oceanográficas del entorno marino, este conocimiento es crucial debido a la contribución significativa de la industria pesquera al Producto Bruto Interno (PBI).

La apertura de la primera temporada de pesca 2024 permitirá generar un aporte de 24% al PBI Pesca, equivalente a un valor añadido de S/ 385 millones, y una contribución de 0.5% a la economía nacional en términos agregados (PBI). En términos de exportaciones, se espera una

contribución de más del 24% en las exportaciones pesqueras, equivalente a USD 831 millones en divisas para el país. Se estima que incidiría en un aporte de cerca del 8% a las exportaciones nacionales al cierre del año 2024 (Ministerio de la Producción, 2024).

Se ha comprobado que el sector pesquero aporta un valor promedio de 1.5% al PBI nacional peruano, representando el 7% del total de las exportaciones del país y generando una considerable cantidad de oportunidades de trabajo directo e indirecto (Ticse et al., 2021).

1.1 Trayectoria del autor

Soy profesional especializado en evaluaciones directas de poblaciones de peces mediante la aplicación de la metodología hidroacústica. Poseo una sólida formación en ciencias marinas y una amplia experiencia en el uso de tecnologías avanzadas para el monitoreo y análisis de ecosistemas acuáticos utilizando equipos de sonar (ecosondas y sonares), y vengo desarrollando mi carrera en el Instituto del Mar del Perú (IMARPE). A lo largo de mi trayectoria, he desempeñado roles clave en investigaciones hidroacústicas, contribuyendo al conocimiento y aportando herramientas de gestión para el manejo sostenible de los recursos marinos. Mi dedicación a la investigación científica y a la innovación tecnológica ha sido clave para llevar a cabo estudios y realizar cruceros de evaluación de recursos marinos.

1.1.1 Formación Académica

Egresé de la carrera de Ingeniería Pesquera en 2014 y obtuve el grado de bachiller en 2015, en la Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura (FOPCAA) de la Universidad Nacional Federico Villarreal. Además, soy egresado del programa de posgrado de la maestría en Gestión Pesquera en la Facultad de Ingeniería Pesquera y Alimentos (FIPA) de la Universidad Nacional del Callao. Actualmente vengo desarrollando mi tesis de maestría con el

título “Serie temporal de la distribución y abundancia de la merluza peruana (*Merluccius gayi peruanus*, Ginsburg, 1954) usando la hidroacústica entre los años 2000-2020”.

A lo largo de mi carrera profesional, he participado en diversos cursos y estudios centrados en la mejora continua, como parte de mi formación académica en desarrollo. Entre algunos de los cursos y talleres podemos mencionar:

- Curso Técnicas de Supervivencia personal (2024). Centro de investigación y formación marítima group.
- Curso Taller Hombre al agua – CTHA (2024). Survival Security Tactics Perú (SST).
- Taller de Diseño de Ingeniería en Autocad I (2023): Programa del Instituto San Ignacio de Loyola (ISIL) Educación ejecutiva.
- Curso Dinámica de poblaciones de peces y aplicaciones usando R (2022). Cousteau Consultant Group.
- Técnicas Científicas para hablar en público (2021): Instituto San Ignacio de Loyola (ISIL) Educación ejecutiva.
- Seguridad Industrial y Salud Ocupacional (2019): Ofrecido por la Facultad de Oceanografía Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura de la Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV).
- Taller: Uso de técnicas multivariadas aplicadas a los datos acústicos para la identificación automática de ecotrazos de anchoveta (2019). Instituto del Mar del Perú. IMARPE.
- Curso Taller de manejo y manipulación de Drones (2018): Servicio Premium en gestión de Riesgos Laborales. ESCUDA SAC.
- Curso de Capacitación en Estudio de Impacto Ambiental (2017). Instituto de Ciencias

de la Naturaleza, Territorio y Energías Renovables de la Pontificia Universidad Católica del Perú

- Pre Requisitos BPM, POES y el Sistema HACCP (2017): Ofrecido por la Facultad de Oceanografía Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura de la Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV).
- Uso del software Echoview en la detección y discriminación de cardúmenes y otras aplicaciones (2017). Taller organizado por la Sociedad Nacional de Pesquería.
- Análisis estadístico y programación en software R (2015): Ofrecido por la Facultad de Matemáticas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM).
- Curso MAM – 009 para marinero de pesca calificado (2014). Centro de Instrucción Acuática- Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (FONDEPES).

1.1.2 Experiencia Profesional

Mi experiencia profesional en ingeniería pesquera incluye talleres de redes y armado de jaulas para la acuicultura, provisión de información de datos satelitales, capacitación en software de navegación y evaluaciones directas mediante hidroacústica. Estas actividades me han permitido adquirir habilidades técnicas de que pueden contribuir a la planificación pesquera eficiente con datos satelitales, optimizar rutas y seguridad marítima con tecnologías avanzadas, y realizar estudios sobre la distribución y abundancia de recursos pesqueros, enfocándome en la sostenibilidad y eficiencia del sector.

Asistente en Investigaciones en Hidroacústica. Instituto del Mar del Perú (agosto 2018- Presente)

- Participación de cruceros de investigación de recursos pelágicos y demersales.
- Dirigir, organizar el componente acústico durante los cruceros.

- Procesamiento de información acústica.
- Asegurar el cumplimiento de objetivos científicos durante las actividades durante los cruceros de evaluación.
- Elaboración de trabajos de divulgación científica.

Asistente de campo en oceanografía y sostenibilidad pesquera. Tecnológica de Alimentos

S.A. (febrero 2018- junio 2018)

- Capacitación a patrones en el manejo de equipos acústicos y de navegación.
- Visitas técnicas a bordo de toda la flota en los puertos para el uso del software TIME ZERO.
- Capacitación y acompañamiento durante las faenas de pesca.
- Seguimiento de las calas realizadas por la flota propia.
- Procesamiento de información acústica recopilada por las embarcaciones equipadas con ecosondas comerciales.
- Elaboración de cartas de condiciones oceanográficas y zonas probables para la pesca de anchoveta y de consumo directo.
- Monitoreo continuo de las condiciones oceanográficas.

Asistente de campo en oceanografía y sostenibilidad pesquera. Tecnológica de Alimentos

S.A. (octubre 2017- febrero 2018)

- Elaboración de carta condiciones oceanográficas y de zonas probables para pesca industrial.
- Procesamiento de información acústica recopilada por las embarcaciones provistas de ecosondas
- Seguimiento a las calas realizadas por la flota propia.

- Seguimiento a las condiciones oceanográficas.

Proveedor de información oceanográfica satelital. Data Set Perú Consult E.I.R.L (abril 2017- Agosto 2017)

- Recopilación y Análisis de Datos Satelitales: Adquisición y procesamiento de imágenes y datos oceanográficos de satélites.
- Generación de Informes Oceanográficos: Creación de informes y mapas temáticos basados en datos satelitales.
- Monitoreo de Fenómenos Oceanográficos: Vigilancia de eventos como El Niño y mareas rojas, con alertas tempranas.
- Asesoramiento y Consultoría: Brindar asesoramiento técnico y capacitación sobre datos satelitales a diversas instituciones.
- Integración de datos: Combinación de datos satelitales con otras fuentes para una visión completa de las condiciones oceanográficas.

1.2 Descripción de la Entidad

1.2.1 Datos Generales de la Entidad

El instituto del Mar del Perú (IMARPE), es un organismo técnico especializado del Ministerio de la Producción (PRODUCE), cuyas funciones se orientan a la generación de conocimiento científico que le permiten al Estado peruano contar con una asesoría científica, veraz y oportuna para el aprovechamiento sostenible de los recursos vivos del mar y las aguas continentales. El IMARPE) es una entidad de prestigio mundial que está adscrita al PRODUCE. El IMARPE fue creado en 1963 para suceder al Instituto de los Recursos Marinos (IREMAR); en 1964 inició sus funciones, y en la actualidad cuenta con más de sesenta años de funcionamiento ininterrumpido

1.3. Organigrama de la Entidad

En IMARPE contamos con 5 direcciones generales que son (véase Figura 1):

La Dirección General de Investigaciones de Recursos Pelágicos se enfoca en cuantificar los stocks y sus variaciones en función del ambiente y la pesquería, contribuyendo a establecer niveles de extracción sostenibles y recomendando medidas de manejo para la sostenibilidad de estos recursos. Además, realiza investigaciones sobre recursos transzonales y altamente migratorios, así como sobre la biología, ecología y tamaño poblacional de aves, mamíferos y tortugas marinas, en concordancia con acuerdos internacionales.

La Dirección General de Investigaciones de Recursos Demersales y Litorales lleva a cabo investigaciones científicas de los recursos demersales, bentónicos y litorales que sustentan pesquerías artesanales e industriales en el país. También investiga la biodiversidad marina en diversas escalas espacio-temporales, proporcionando bases científicas y técnicas para el ordenamiento pesquero nacional y del mar peruano en general, dentro de un enfoque ecosistémico.

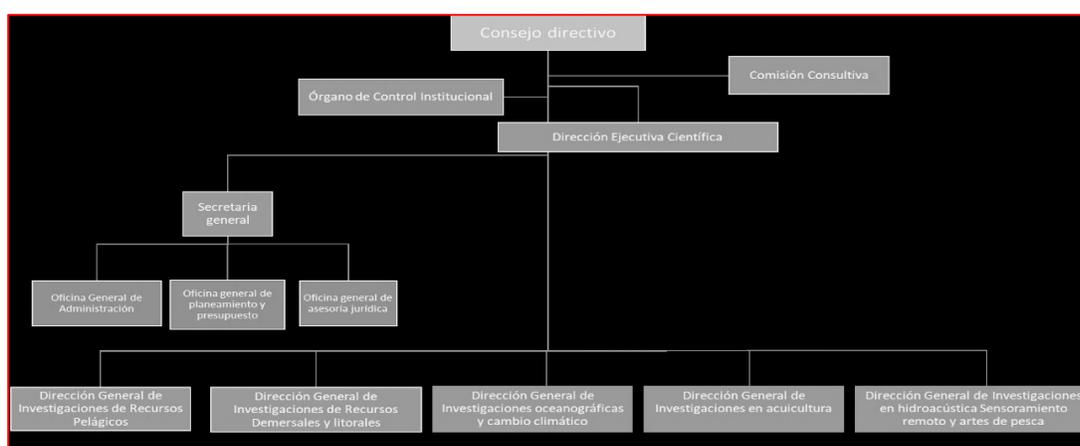
La Dirección General de Investigaciones en Hidroacústica, Sensoramiento Remoto y Artes de Pesca (véase Figura 2), realiza investigaciones científicas y tecnológicas para evaluar poblacionalmente los recursos hidrobiológicos mediante métodos hidroacústicos y sensoramiento remoto. Además, desarrolla artes y estrategias de pesca ecológicamente amigables con el objetivo de promover la sostenibilidad pesquera y la seguridad alimentaria, todo ello dentro de un enfoque ecosistémico.

La Dirección General de Investigaciones Oceanográficas y Cambio Climático se centra en investigaciones científicas de los procesos y condiciones oceanográficas, físicas, químicas, biológicas y geológicas del mar peruano, en el contexto de la variabilidad climática. También estudia el impacto del cambio climático en los ecosistemas marinos y marino-costeros.

La Dirección General de Investigaciones en Acuicultura se dedica a investigar el desarrollo del cultivo de especies hidrobiológicas marinas y dulceacuícolas relevantes para la seguridad alimentaria, así como la sanidad acuícola. Además, evalúa indicadores de calidad acuática y realiza la evaluación de los recursos hidrobiológicos de agua dulce y ambientes acuáticos para el desarrollo de la acuicultura.

Figura 1

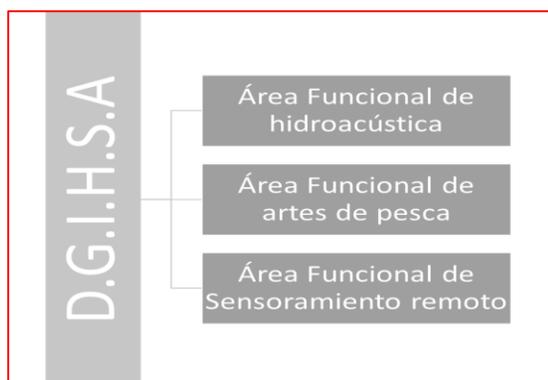
Organigrama del Instituto del Mar del Perú - IMARPE



Fuente: Elaboración propia

Figura 2

Organigrama de la Dirección general de Investigaciones en Hidroacústica, Sensoramiento Remoto y Artes de Pesca (DGHISA)



Fuente: Elaboración propia

1.4. Áreas y funciones desempeñadas

En el rol de asistente de investigaciones en hidroacústica en el Instituto del Mar del Perú, efectúo actividades principalmente dirigidas al procesamiento de datos hidroacústicos para estimar biomasa pesquera, así como participación en cruceros de investigación. Además, se contribuye en la elaboración de trabajos científicos e informes técnicos. También de tareas adicionales, como apoyo administrativo y gestión de información, destacando compromiso con la misión del instituto. Entre las funciones específicas desarrolladas tenemos:

- Apoyar en la determinación de ecuaciones de reflectividad acústica (TS) de las especies pesqueras de mayor abundancia e importancia en el mar peruano, a fin de lograr una mejor aproximación en la estimación de la biomasa acústica de cada recurso evaluado y dar cumplimiento a los fines que se persiguen en la investigación.
- Participar en cruceros de investigación. El IMARPE desarrolla diversos cruceros que son sobre recursos pelágicos, demersales, biomasa desovante, calamar gigante, recursos del lago Titicaca y de la región Antártica. Asimismo, IMARPE realiza prospecciones pesqueras bajo el Programa Eureka fundado en 1966 por el IMARPE con la cooperación de la industria.
- Pre-procesamiento de información acústica: Utilización del software Echoview para analizar datos recopilados mediante ecosondas científicas durante los cruceros de evaluación. Incluye la creación de archivos EV-Files, limpieza de ecogramas, eliminación de interferencias eléctricas y malas regiones, y la creación de líneas de fondo.
- Procesamiento de información acústica: Detección y discriminación de especies mediante la aplicación de algoritmos, variables virtuales, experiencia del evaluador y

patrones típicos de especies pelágicas.

- Exportación de bitácoras acústicas: Generación de registros acústicos como resultado de todo el procesamiento realizado.
- Elaboración de cartas de distribución espacial de los principales recursos pelágicos y demersales (horizontal y vertical).
- Análisis de descriptores acústicos de las regiones de peces: Evaluación de estadísticas como mediana, promedio, máximo, mínimo, desviación estándar y varianza de características como la profundidad media del cardumen, altura, grosor, perímetro, área, elongación, entre otras.
- Apoyar en la elaboración de trabajos de investigación científica para su divulgación en la comunidad científica, la elaboración de informes técnicos relacionados a las actividades realizadas. Otras funciones de apoyo administrativo como elaboración de términos de referencia, atención de requerimiento de solicitud de acceso a la información pública.

Funciones realizadas y su relación con el perfil del egresado de ingeniería pesquera.

La formación académica de la carrera profesional de Ingeniería Pesquera en la Universidad Nacional Federico Villarreal proporciona las bases teóricas y prácticas para desenvolverse en diversos aspectos de la pesquería. Los egresados en Ingeniería Pesquera pueden desempeñar un papel significativo en la gestión sostenible de recursos pesqueros al participar en la planificación y aplicación de estrategias para la conservación de especies marinas. Además, están capacitados para contribuir a investigaciones científicas sobre la ecología marina y desarrollar tecnologías avanzadas que mejoren las prácticas pesqueras y acuícolas.

Asimismo, los ingenieros pesqueros pueden trabajar en el procesamiento de productos pesqueros, la gestión de la cadena de suministro, la consultoría ambiental y la formulación de políticas y regulaciones destinadas a garantizar la sostenibilidad y conservación de los recursos acuáticos. La versatilidad de su formación les permite abordar una amplia gama de desafíos en el ámbito marino, incluyendo la producción, la investigación, la gestión ambiental y la educación.

En el trabajo de un Ingeniero Pesquero, que desempeña funciones en la investigación científica y que contribuye a la evaluación directa de la distribución y biomasa de los recursos pelágicos mediante la aplicación de la tecnología hidroacústica. La labor se centra en el procesamiento de la información recopilada, utilizando herramientas especializadas y software para analizar los datos acústicos y obtener resultados significativos. Además, su participación activa en la publicación científica de estos resultados en revistas indexadas no solo fortalece la visibilidad y credibilidad de las investigaciones, sino que también refleja el compromiso con la divulgación de hallazgos científicos. Estas funciones se alinean estrechamente con el perfil del egresado de ingeniería pesquera, destacando habilidades técnicas avanzadas, capacidad analítica y un compromiso con la difusión del conocimiento científico en el ámbito pesquero

II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA

Marco teórico de la Acústica Submarina

La acústica submarina activa desempeña un papel importante en la obtención de información detallada sobre la topografía oceánica, las corrientes marinas y también se puede observar las zonas mínima de oxígeno, así como en la evaluación de la abundancia y poblaciones de peces, esenciales para las pesquerías y la biodiversidad (Howe et al., 2019). En la investigación marina, la ecosonda científica se ha convertido en una herramienta esencial para el estudio y la evaluación de los recursos pesqueros. En IMARPE, utilizamos esta tecnología para evaluar los recursos de peces de manera precisa y eficiente. La ecosonda nos permite obtener mediciones directas de los cardúmenes de peces. Una vez procesada esta información, nos proporciona detalles sobre la distribución y abundancia de las especies marinas.

2.1 Conceptos, unidades y símbolos en acústica submarina

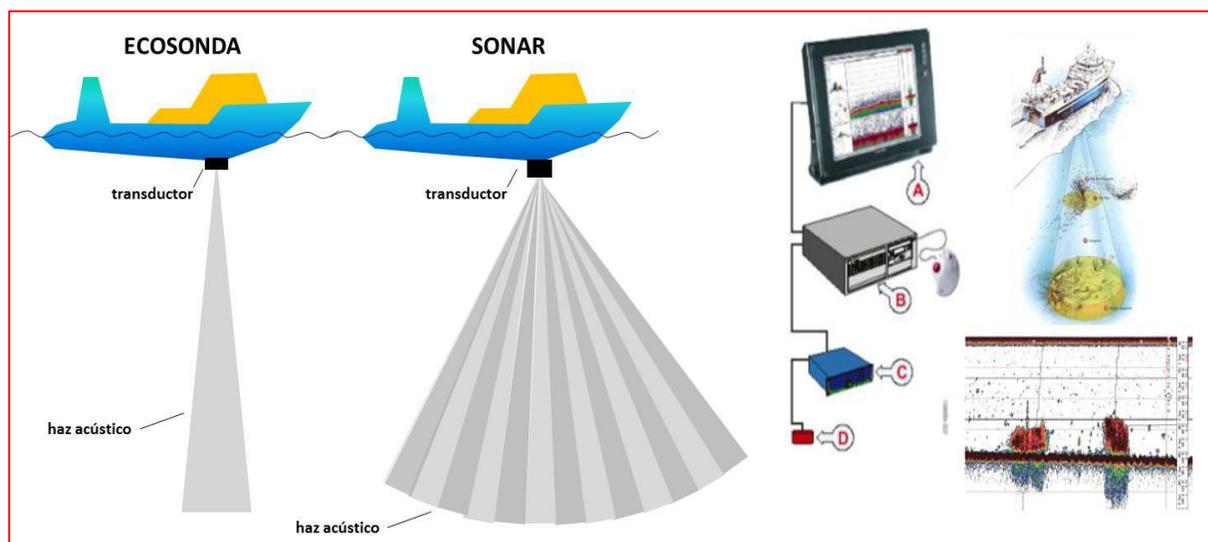
2.1.2 Ecosonda

El principio fundamental de operación de una ecosonda es el siguiente: una cantidad conocida de energía acústica (sonido) es emitida por un transductor desde una embarcación durante un período de tiempo limitado (típicamente entre 0.1 y 0.3 milisegundos); esta perturbación mecánica producida por medios piezoeléctricos o magnetostrictivos se propaga en el agua e impacta en los cardúmenes de peces, en el zooplancton o en el fondo del mar. Se produce así un reflejo o eco ('retrodispersión'). El transductor cumple también la función de reconvertir la perturbación mecánica en impulsos eléctricos, que son amplificados y presentados en un "ecograma", o matriz bidimensional (distancia-profundidad). Esta información es grabada en ficheros RAW para su análisis. Las ecosondas y sonares modernos son de tipo digital, con características que los hacen precisos y versátiles, permitiendo además la grabación de los datos

numérico directo. La diferencia entre estos tipos de Sistemas de Sonar (SS) está en la concepción de uso para el transductor. La ecosonda emite el haz acústico en una sola dirección fija, normalmente vertical, con un ángulo de apertura típico de 7 grados sexagesimales. En cambio, el diseño del transductor de sonar, que es mucho más complejo, le permite emitir los haces acústicos en un ángulo de 360 grados, aunque con una inclinación fija (entre -5 y 90 grados) (véase Figura 3). En la década presente se ha desarrollado la tecnología omnidireccional, la cual no requiere de piezas móviles en el transductor. Esta tecnología, también llamada multihaz, ofrece variables más completas para la representación de las detecciones en 3 y 4D.

Figura 3

Diagrama de sistemas sonar activos: ecosonda, sonar y componentes de ecosonda digital con ecograma e insonificación.



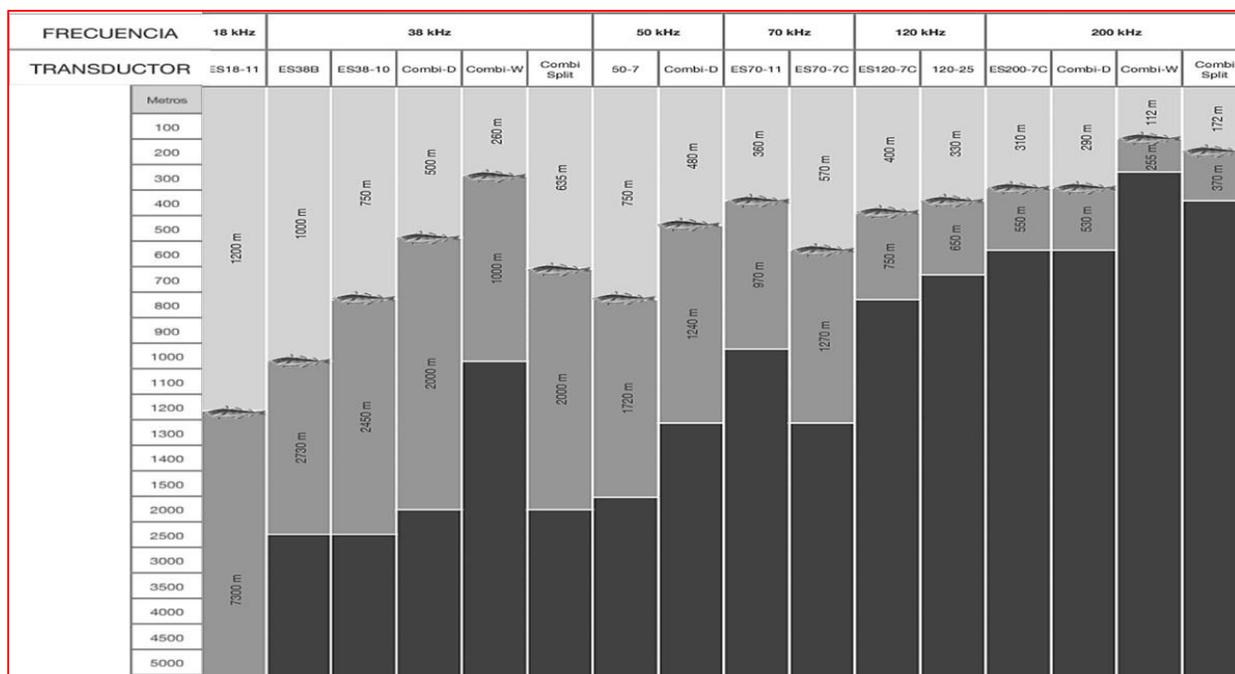
Nota. Figura izquierda tomada del curso *Acústica Submarina*, Universidad Nacional Federico Villarreal (Gutiérrez, 2014). Figura derecha tomada de *Protocolo técnico para la evaluación acústica de las áreas de distribución y abundancia de recursos pelágicos en el mar peruano* (p. 23), versión 2009, en *Informe IMARPE*, 36(1-2), por Castillo et al. (2009).

Dependiendo de la aplicación, las ecosondas digitales operan en frecuencias a partir de 12 kHz a 710 kHz, mientras que la marca Kongsberg comercializa transductores para la evaluación de recursos con las siguientes frecuencias: 333, 200, 120, 70, 50, 38 y 18 kHz. Es necesario poder

encontrar un equilibrio entre las necesidades como son: el largo alcance y la mejor resolución. Cuando la frecuencia aumenta lo hace también la resolución, pero limita el alcance de las observaciones. En la hidroacústica submarina, la relación entre frecuencia, alcance y volumen del sonido es crucial para la precisión en la detección y evaluación de recursos pesqueros. Las frecuencias más altas, como 200 y 120 kHz, son ideales para detectar pequeños organismos y detalles finos, aunque tienen un menor alcance debido a una mayor atenuación en el agua. En contraste, las frecuencias más bajas permiten mayor alcance, pero con menor resolución para detalles pequeños (véase Figura 4). Esta relación se debe a que la atenuación del sonido en el agua aumenta con la frecuencia, limitando el alcance de frecuencias más altas, pero mejorando la resolución de los ecos.

Figura 4

La frecuencia alta detecta especies pelágicas, y la baja, mesopelágicas en profundidades mayores a 200 m.



Nota: Figura tomada del catálogo general de productos de pesca. Kongsberg- Simrad. Frecuencias de sonido y alcance vertical. *Fuente:* Kongsberg Maritime AS, n.d. Catálogo general de productos de pesca [Catálogo en PDF]. Simrad Fisheries. Recuperado de https://www.simrad.online/cat/es/fishery_all_es_a4_lores.pdf.

En hidroacústica, la comprensión de ciertos términos es esencial para la interpretación de datos y el funcionamiento de los equipos. La frecuencia (f) se refiere a la tasa de oscilación del transductor durante la transmisión, medida en repeticiones por unidad de tiempo. Esta frecuencia determina la resolución y el alcance del sonido en el agua, ya que está relacionada con la velocidad de la onda en el medio acuático. La longitud de onda (λ) representa el espesor del pulso de sonido mientras se desplaza por el agua. Puede calcularse en función de la duración del pulso, proporcionando información crucial sobre la precisión y el detalle de las detecciones acústicas.

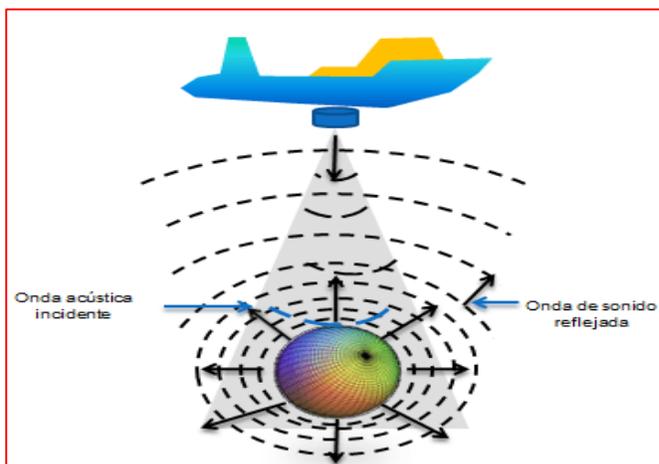
La duración del pulso, o "ping", es el tiempo durante el cual el transductor emite un pulso de sonido. Este pulso, típicamente de alrededor de 1 milisegundo, no se emite como una señal continua, sino como una serie de pulsos cortos repetidos a intervalos regulares.

2.1.3 Sección transversal de dispersión (σ) y retro-dispersión (σ_{bs})

Cuando las ondas acústicas emitidas por el transductor de la ecosonda intersectan un cuerpo u objeto, parte de la energía emitida (energía incidente) es dispersada, generando una onda secundaria que –en general– se propaga en todas las direcciones desde el objeto. (véase Figura 5).

Figura 5

El transductor emite un pulso sinusoidal; las ondas reflejadas se propagan en todas direcciones.



Nota. Figura tomada del curso *Acústica Submarina*, Universidad Nacional Federico Villarreal (Gutiérrez, 2014).

Sección transversal acústica (σ)

Si consideramos un blanco pequeño insonificado por una onda acústica incidente con intensidad (I_o) y una esfera de radio r centrada sobre el blanco (siendo r más grande comparado con la longitud de onda), además supongamos que la dispersión sea isotrópica tenemos: la intensidad dispersada o reflejada (I_r), es constante en toda la superficie de la esfera. De modo tal que la ley de inversa al cuadrado se aplica (es decir que la intensidad a una distancia R es proporcional a la intensidad inicial e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia).

Sigma (σ) está definido como el área (m^2) en el frente de onda incidente que intercepta la esfera y la cual es dispersada en todas direcciones. (véase Figura 6).

Ya que el área de la superficie de la esfera de radio r es $4\pi r^2$, la ecuación de definición es:

$$\sigma = 4\pi r^2 \left(\frac{I_i}{I_r}\right) \quad \text{Ecuación 1}$$

Asimismo, la intensidad reflejada se describe como:

$$I_r = \frac{I_o}{4\pi R^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde σ = Sección transversal de dispersión

I_i = Intensidad incidente

I_r = Intensidad reflejada o dispersada

I_o = Intensidad emitida

R = Distancia entre blanco y la fuente de emisión de pulso

En realidad, la dispersión acústica provocada por los peces es anisotrópica (varia algunas propiedades según la dirección en que se midan). La intensidad dispersada cambia con el ángulo que existe respecto a la dirección de la onda incidente. (Gutiérrez 2002).

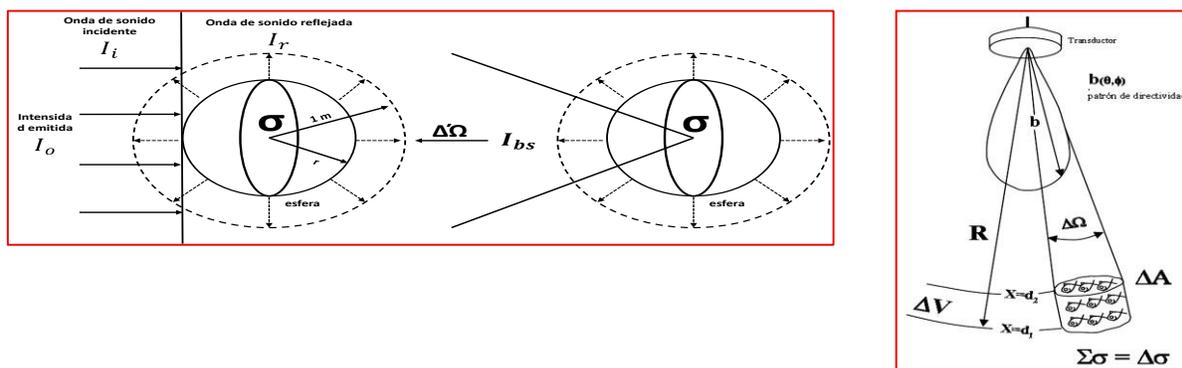
Sin embargo, en casi todas las aplicaciones pesqueras es la dirección de retorno al transductor la que es importante. El modelo anterior está adaptado al caso de dispersores anisotrópicos, con la modificación conceptual de que la intensidad de la retrodispersión es replicada sobre la totalidad de la superficie de la esfera.

Sección transversal de retrodispersión (σ_{bs})

Este modelo es esencialmente el mismo que el anterior, pero en este caso solamente se considera la retrodispersión (eco) a la dirección de la onda incidente. La intensidad retrodispersada I_{bs} , es inversamente proporcional a R^2 . Pero, es incorrecto considerar solo una dirección porque el blanco tiene un tamaño finito y casi siempre tiende a tener un ángulo que no es cero en relación con el transductor. Entonces, consideremos un pequeño ángulo sólido $\Delta\Omega$ alrededor de la dirección de retrodispersión, dentro de la cual I_{bs} es usualmente constante. (véase Figura 6).

Figura 6

A la izquierda, onda de sonido dispersa; al centro, retrodispersión en dirección opuesta; a la derecha, peces en volumen, retrodispersión total.



Nota: Figura tomada de Burcinsky 1982 , Gutiérrez.2014

En términos prácticos (σ_{bs}) representa la energía acústica que un determinado objeto es capaz de reflejar y es exclusivamente dependiente de las propiedades reflectivas del pez. Representa el área que está enfrentada al haz acústico, es decir el área en el frente de onda incidente.

La intensidad retrodispersada I_{bs} se describe también como σ_{bs} (Figura 6), que es el área de la esfera sobre la cual se intercepta una intensidad incidente dentro de un ángulo sólido $\Delta\Omega$ (medido en esterradianes). El área de la superficie de la esfera encerrada en $\Delta\Omega$ es $R^2\Delta\Omega$ entonces, $I_0 \sigma_{bs} = [R^2\Delta\Omega I_{bs}(r)] / \Delta\Omega$, y la ecuación de definición es:

Pero solo podemos medir el sonido en la dirección de retorno, entonces:

$$\sigma_{bs} = \frac{R^2 I_{bs}(r)}{I_0} = 10^{TS/10} = 10^{b_{20}/10} \cdot L^2 = \frac{\sigma}{4\pi} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde σ_{bs} = Sección transversal de retrodispersión

TS = reflectividad acústica o (target strenght)

b20 = capacidad orgánica del pez para reflejar el sonido

L = longitud del pez

Ibs = Intensidad o sonido retrodispersado

2.1.4 Coeficientes de volumen y área de (retro)dispersión

Considérese un pequeño volumen ΔV conteniendo blancos con una sección transversal acústica combinada $\Delta\sigma$ (Figura 6). El volumen de dispersión es:

$$S_v = \frac{\Delta\sigma}{\Delta V} \quad \text{Ecuación 4}$$

El volumen y área de retrodispersión se definen en forma similar, con σ_{bs} reemplazando a σ en las formulas (dado que solo se consideran las áreas efectivamente enfrentadas a la onda sonora). Por tanto, el volumen de retrodispersión es:

$$S_v = \frac{\Delta\sigma_{bs}}{\Delta V}$$

Ecuación 5

Los valores Sv se calculan desde los datos de potencia contenidos en los ficheros RAW generados por la ecosonda científica EK60 (Kongsberg Maritime, 2008) según la siguiente ecuación 6:

Ecuación 6

$$S_V(R, P_r) = P_r + 20 \log R + 2\alpha R - 10 \log\left(\frac{P_t G_o^2 \lambda^2}{16\pi^2}\right) - 10 \log\left(\frac{c \tau \psi}{2}\right) - 2S a_{correction}$$

Donde R es la distancia (m) a cada muestra vertical en el ecograma; Pr es la potencia recibida (W/m²); α es el coeficiente de absorción (dB/m); Pt es potencia transmitida (W/ m²); G₀ es la ganancia Sv del transductor; λ es la longitud de onda empleada (m), que depende de la frecuencia de sonido empleado; c es la velocidad del sonido (m/s); T es la duración del pulso (milisegundos); ψ es el ángulo equivalente en dos vías (esteradianes); Sa correction es la diferencia (dB) entre el valor de ganancia G₀ y la ganancia para la corrección de valores de reflectividad (TS).

2.1.5 Target Strength (TS) o Fuerza de Blanco

La reflectividad acústica (Target Strength) es un valor que indica una capacidad de un determinado organismo para reflejar el sonido que incide sobre él (Simmonds y MacLennan, 2005). Todo objeto sumergido posee una cierta capacidad reflectiva. TS es una cantidad de energía medida en decibeles que representa una superficie acústica equivalente medida en metros cuadrados. Para una misma especie, en el caso de peces, su capacidad reflectiva individual (TSi) cambia según el tamaño, condición reproductiva, contenido graso y fisiología (Gutiérrez, 2002). El TS es medido al insonificar un objeto a través de la emisión de un solo ping o pulso sonoro, o bien a través del promedio de varias emisiones. Dicha superficie acústica equivalente representada por el TS es también descrita como “Sección transversal de dispersión” (σ) cuando se hace

referencia a toda la superficie teórica del objeto, asumiéndose por defecto que se trata de una esfera (o pseudo-esfera). Y se habla de “Sección transversal de retrodispersión” (σ_{bs}) para hacer referencia a la fracción de energía que retorna retrodispersada (eco) en dirección opuesta a la de la onda incidente (Gutiérrez, 2002).

En ecosistemas marinos, el método más como usado para estimar los valores TS es una regresión lineal-logarítmica que estima el TS como una función de la longitud del animal (L)

$$TS = m \log L + b + \varepsilon \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde m y b son la pendiente y el intercepto que son específicas para especies y ε es el término de error residual.

En acústica pesquera, una forma de este modelo de regresión donde $m = 20$ (citar

Medición empírica de la reflectividad acústica en peces(TS):

La ecuación empírica utilizada para la estimación de abundancia fue propuesta por Foote (1987) y cuya aplicación arroja la reflectividad (TS) promedio en base a una variable independiente, la longitud de los peces (L)

$$TS = 20 \log L + b_{20} \quad \text{Ecuación 8}$$

En la ecuación anterior, el factor b_{20} puede ser determinado bien por medio de experimentos con peces vivos o a través de la medición in situ de la Fuerza de Blanco. De acuerdo a lo descrito por MacLennan y Menz (1996) es posible deducir el factor b_{20} por comparación de los histogramas de TS y aquellos correspondientes a la estructura de tallas de una especie dada cuando ambas son colectadas simultáneamente. Gutiérrez (2002) describe el protocolo para realizar mediciones de reflectividad en base a la talla de ciertas especies.

Las ecuaciones utilizadas para anchoveta en 120 kHz en el IMARPE son las siguientes:

Mediciones realizadas entre marzo y abril de 1998; Gutiérrez y MacLennan (1998)

$$TS = 20 \log (Longitud) - 76.25 \quad (10 - 13 \text{ cm}) \quad \text{Ecuación 9}$$

Mediciones realizadas entre noviembre y diciembre de 1998; Gutiérrez (1999)

$$TS = 20 \log (Longitud) - 81.8 \quad (6 - 8.5 \text{ cm}) \quad \text{Ecuación 10}$$

Mediciones realizadas en noviembre de 1997 para anchoveta; Maclellan (1998)

$$TS = 20 \log (Longitud) - 77,5 \quad (> 13.0 \text{ cm}) \quad \text{Ecuación 11}$$

2.1.6 Ecointegración

Se basa en el principio de “linearidad” el cual consiste en: “el eco del cardumen será igual a la suma de los ecos individuales de todos los peces que lo componen. En otras palabras, la detección es un proceso lineal que puede ser predecible demostrado en Foote 1983. Entonces ecointegración será igual a la sumatoria de ecos (energía acústica retrodispersada) producidos por emisiones de sonido a lo largo de un intervalo de muestreo (tiempo, distancia o pings) dividido entre el número de emisiones de sonido por intervalo de muestreo.

En realidad, lo principal es conocer la ecointegración promedio acumulativa por intervalo de muestreo para así extrapolarla a la región en la cual se desea conocer la abundancia de peces.

2.1.7 Coeficientes de volumen y área de retrodispersión

Los valores NASC o Sv son en realidad un promedio de todas las emisiones de sonido efectuadas dentro del intervalo de muestreo antes aludido. Un sistema de análisis de datos acústicos como el Echoview o el Movies+ efectúan en primer término un conteo de los pulsos o pings existentes dentro de cada intervalo (típicamente 1 milla náutica). El valor ecointegrado NASC se obtiene a través de la siguiente ecuación:

Ecuación 12

$$NASC = NASC1 / n + NASC2 / n + \dots \dots \dots + NASCn / n = \Sigma NASCi / n \quad (m^2 / mn^2)$$

NASC_i: es la expresión lineal del coeficiente logarítmico del volumen de retrodispersión y n es el número de emisiones o pings emitidos por la ecosonda dentro de un intervalo de muestreo cualquiera.

Ahora considérese una pequeña volumen ΔV de una capa de agua entre profundidades $x=d_1$ y $x=d_2$, (véase Figura 7). El coeficiente náutico de dispersión acústica (m^2/mn^2) de la capa es:

$$NASC = \int_{d_1}^{d_2} S_v \cdot dx$$

Ecuación 13

Para transformar Sv en NASC se utiliza la siguiente expresión:

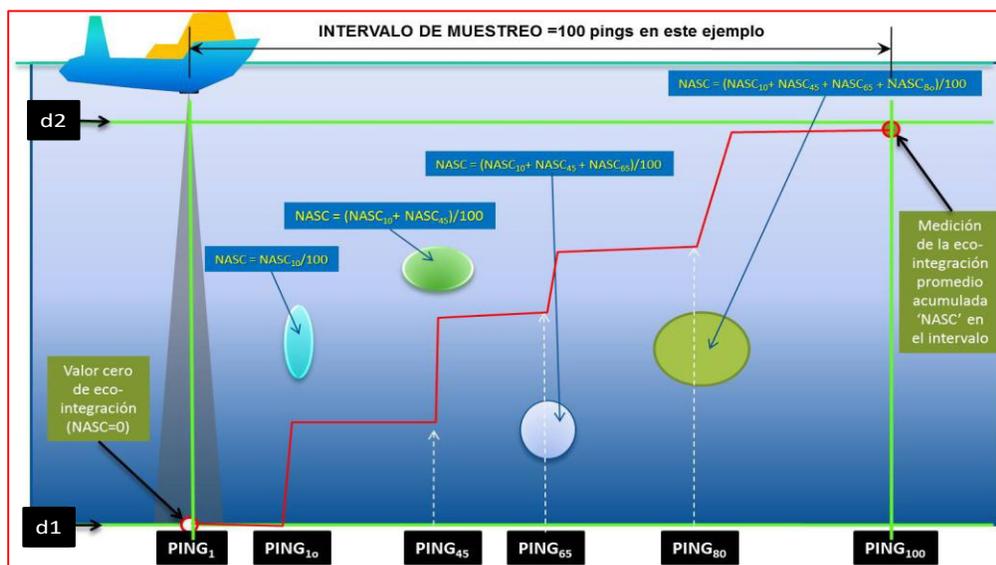
$$NASC = 4 \cdot \pi \cdot 10^{S_v/10} \cdot 1852^2 \cdot (d_2 - d_1)$$

Ecuación 14

Donde 4π le restituye al área de retrodispersión la superficie total de dispersión; 1852 es la extensión en metros (m) de una milla náutica empleada como distancia de referencia, y d_2-d_1 (m) representa el espacio en que se integra las mediciones Sv (el intervalo vertical seleccionado).

Figura 7

Principio de ecointegración: se suman los ecoregistros de varios Pings y se dividen entre el total de emisiones.



Nota. Figura tomada del curso *Acústica Submarina*, Universidad Nacional Federico Villarreal (Gutiérrez, 2014).

2.1.8 Biomasa y abundancia

La abundancia hace referencia a la cantidad de peces que habitan un lugar determinado. La abundancia también puede ser definida como la “biomasa observada”, es decir, una medición de la cantidad de peces dentro de un espacio insonificado. La abundancia se expresa en número de individuos, y a partir de esa medición se le puede expresar en términos de masa (gramos, kilos, toneladas). Para ello se debe obtener valores de Coeficiente Náutico de Dispersión Acústica (NASC) por especies y para cada Unidad Básica de Muestreo (UBM).

La estimación de abundancia o biomasa observada de peces se realiza aplicando lo descrito por Simmonds y MacLennan (2005), donde los valores NASC son derivados en número de peces al utilizar funciones de Fuerza de Blanco (TS) para la determinación de la sección transversal de retrodispersión (σ_{bs}). MacLennan y Simmonds (1992) presentan la estimación de la abundancia como función de la densidad o número de peces:

$$\rho = \frac{NASC}{\sigma} = \frac{NASC}{4\pi 10^{TS/10}} \wedge \sigma_{bs} = \frac{\sigma}{4\pi} \quad \text{Ecuación 15}$$

La expresión logarítmica de σ_{bs} es el TS, entonces:

$$\sigma = 4\pi 10^{TS/10} \quad \text{Ecuación 16}$$

La abundancia, en términos de masa, se estima de la siguiente manera:

$$w = a * L^b \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde L es la talla media del pez (cm) en estudio, y a y b son constantes adimensionales que se obtienen del muestreo biológico de las capturas. Es decir que se requiere realizar un muestreo biológico vía capturas para conocer la estructura de tallas de las especies en estudio para poder expresar en masa la medición acústica.

La biomasa total (B) de peces se calcula sumando los resultados parciales (i) obtenidos para cada intervalo en el área A y proporción por especies p:

$$B = \sum_{i=1}^n \overline{\rho}_i \cdot W_i \cdot A_i \cdot P_i \quad \text{Ecuación 18}$$

La suma de todos los factores Pi empleados en cada intervalo es 1.

2.2 Métodos de estratificación

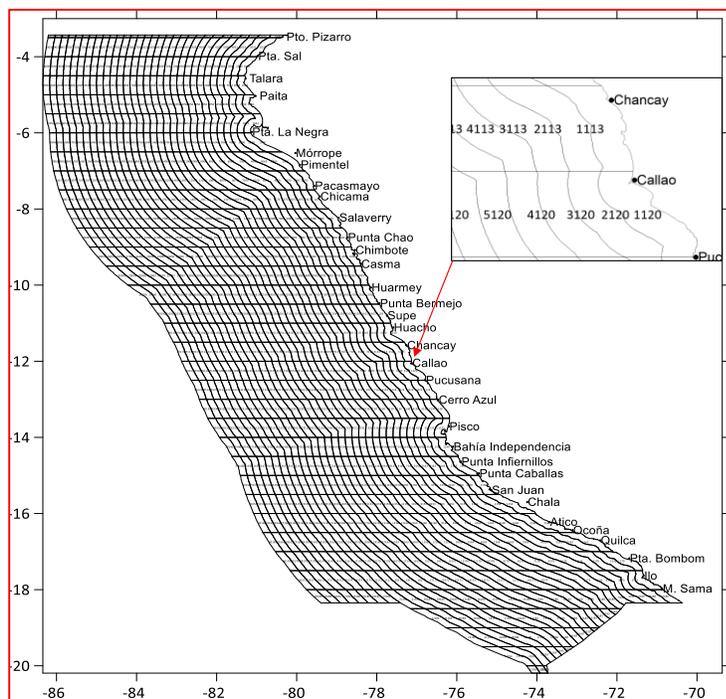
2.2.2 *Estimación por áreas isoparalitorales*

Para la estimación de la biomasa por áreas isoparalitorales se utilizará los promedios de eointegración (NASC) por cada unidad básica de muestreo (UBM), se estratifican según áreas isoparalitorales (AIP), de acuerdo a Gutiérrez y Peraltilla (1999), donde la proyección de la línea de costa es cada 10 millas náuticas (mn) y la proyección de los paralelos de latitud cada 30 minutos, además de una codificación para cada área isoparalitoral. (véase Figura 8). En el Anexo A se muestra un diagrama Hovmoller de la biomasa por áreas isoparalitorales de los cruceros entre los años 1985 al 2022 siendo un total de 83 cruceros por grado de latitud.

Cada área cuenta con una codificación única, que sigue el siguiente formato: los dos dígitos centrales indican el grado de latitud en el que se encuentra, mientras que el primer dígito representa las millas de distancia a la costa (cada 10 millas). El último dígito indica si el área comienza desde la latitud entera o desde la mitad de la latitud. Por ejemplo, "2113" se encuentra en la latitud sur 11°, a una distancia de las primeras 20 millas de la costa, y el número 3 señala que se extiende latitudinalmente desde 11°30' a 12°00'.

Figura 8

Grillado del mar peruano según áreas isoparalitorales de 10 x 30 mn paralelas a la línea de costa. Cada área tiene una codificación única para su identificación.



Fuente: Elaboración propia

Se cruza dos bases de datos: la base de datos acústicos y la base de datos con las coordenadas geográficas de las aéreas isoparalitorales. El resultado es una base de datos donde se indica el NASC promedio, y la magnitud del área de distribución para cada AIP en mn² (Gutiérrez y Peraltilla 1999)

La estimación de la abundancia se realiza aplicando lo descrito por Simmonds y MacLennan (2005), donde la eointegración (NASC) permite calcular el número de peces detectados en cada unidad biológica muestreada (UBM). Esto se logra al aplicar las ecuaciones de Fuerza de Blanco (TS)-Talla para la determinación de la sección transversal de retrodispersión (σ_{bs}). Las fórmulas utilizadas para la estimación de biomasa, basadas en la integración acústica y la determinación de σ_{bs} , se detallan en la sección 2.1.7 del mencionado trabajo.

La biomasa total (B) se calcula sumando los resultados parciales (i) obtenidos para cada área isoparalitoral de área A y proporción por especies, multiplicado por el peso promedio:

$$B = \sum_{i=1}^n \rho_i * w_i * A_i p_i \quad \text{Ecuación 19}$$

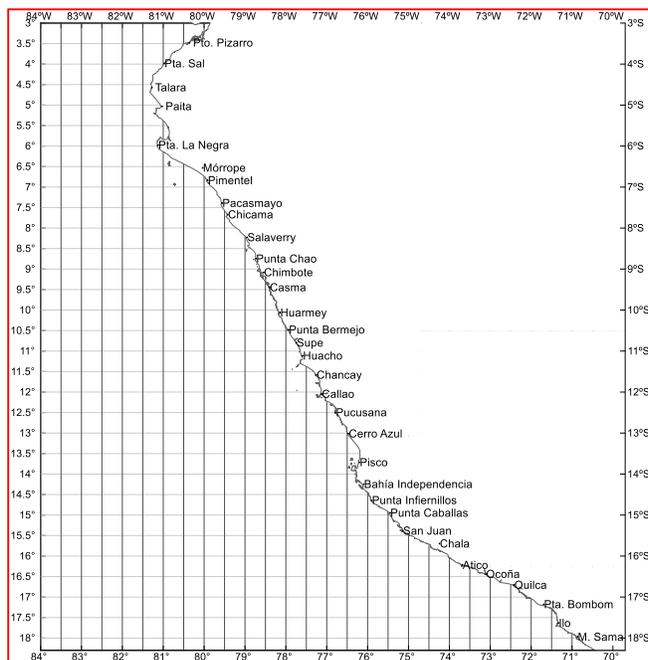
2.2.3 Ecointegración por cuadrados estadísticos

Este método se basa en la estimación del valor de ecointegración NASC promedio dentro de un área delimitada o una grilla que cubre toda el área de evaluación (véase Figura 9). Las ecuaciones empleadas para calcular la biomasa son las mismas que se utilizan para cada área de isoparalitorales (ecuaciones del 11 al 13). Cada cuadrante está delimitado por intervalos de 30 por 30 minutos. La biomasa se calcula a través de la siguiente expresión:

$$B = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\overline{NASC}_I}{\sigma_I} * \overline{W}_i \right] * 30^2 \quad \text{Ecuación 20}$$

Figura 9

Grillado del mar peruano según áreas de 30 x 30 minutos paralelas a la línea de longitud y latitud y perpendiculares entre sí.



Nota. Fuente: Elaboración propia

2.2.4 Método de estratificación por transectos

Para la estimación de abundancia acústica se utilizará el método estratificación por transectos descrito en Jolly y Hampton 1990. La ventaja de este método es la incorporación al análisis de la mayor cantidad de información biométrica, a fin de obtener estimados de abundancia para cada UBM, diferenciando por tallas los valores de NASC colectados.

En primer término, se calculan las proporciones (p) por lance (i) y clase(j) de talla (L) de los lances efectuados durante la prospección, considerando la talla el número de individuos (n) y el peso individual (w) como factores de ponderación. En el caso de las tallas es conveniente efectuar la ponderación según el cuadrado de las tallas, ya que la magnitud de los ecos está aproximadamente relacionada con el cuadrado del tamaño del pez. (Foote, 1987; MacLennan, 1998)

$$P_{ij} = \frac{L_j^2 \cdot w_j \cdot n_j}{\sum L_j^2 \cdot w_j \cdot n_j} \quad \text{Ecuación 21}$$

Paralelamente se debe determinar el Factor de Conversión (CF) que es definido como el cociente del peso medio del pez(w) y su correspondiente área de sección transversal de retrodispersión (σ). Ambos valores se obtienen considerando toda la distribución de especímenes colectados durante los muestreos biométricos en las calas de pesca:

$$CF_{ij} = \frac{w_j}{4 \cdot \pi \cdot 10^{TS/10}} \cdot 10^6; (t/m^2) \quad \text{Ecuación 22}$$

$$\sum CF_{ij} = 1; \quad \text{Ecuación 23}$$

Dónde:

$$\sigma_j = 4 \cdot \pi \cdot 10^{TS/10}; (m^2) \quad \text{Ecuación 19}$$

La Fuerza de Blanco (TS) en la clase j es (Foote, 1987)

$$TS = A \cdot \log(L_j) - B_{20}; \text{ dB} \quad \text{Ecuación 24}$$

Dos de los factores de las ecuaciones anteriores (CF_j y $w(L_{ij})$) se calculan para cada lance i en la clase de talla j. A y B son factores que dependen de la reflectividad de la especie en estudio. Para este caso utilizaremos la ecuación de (Gutiérrez, 2002): Anchoqueta: $TS_j = 30.258 \log(L_j) - 89.353$; (dB)

En el caso del peso individual W_{ij} (gramos), este puede obtenerse directamente de la determinación del peso de la muestra de cada clase j, o bien a través de la relación talla peso, donde a y b son constantes:

$$w_{ij} = a_i L_j^{b_i}; \text{ (g)} \quad \text{Ecuación 25}$$

La densidad en el transecto K, UBM l (ρ_{kl}), lance i y clase j es calculada obteniendo previamente un factor de corrección K para cada lance i y clase j:

$$K_{ij} = C_{ij} \rho_{ij}; \text{ (t/m}^2\text{)} \quad \text{Ecuación 26}$$

$$\rho_{klj} = NASC_K \cdot K_{ij}; \text{ (t/mn}^2\text{)} \quad \text{Ecuación 27}$$

Para poder aplicar la ecuación anterior se debe decidir cuál lance servirá para estimar la abundancia en cada transecto; los transectos formados por un número discreto de UBMs, pueden subdividirse en caso exista más de un lance sobre un mismo transecto.

La biomasa B en el transecto K, UBM l, es en realidad la suma de la abundancia por talla, dependiendo de la separación E entre transectos:

$$B = E \cdot \sum \rho_{klj}; \text{ (t)} \quad \text{Ecuación 28}$$

Para determinar el número de individuos en el transecto k, UBM l, lance i y clase j se debe utilizar la siguiente relación:

$$N_{klij} = \frac{E \cdot \rho_{klij}}{W_{ij}}, \quad \text{Ecuación 29}$$

Ventajas de utilizar el método de Jolly y Hampton 1990

- Al utilizar el método de Jolly y Hampton de estratificación por transectos se evita utilizar promedios de tallas para calcular la reflectividad, pues se utiliza el íntegro de la estructura de tallas. En consecuencia, el estimado de biomasa se calcula también por tallas.
- Este diseño en especial es para muestreos sistemáticos, no trabaja con promedios sino con el valor NASC (“NASCi”) de cada UBM.

2.3 Diseño de muestreo

Muestreo Sistemático perpendicular a la costa.

El IMARPE emplea un diseño de transectos sistemáticos rectangulares que se distribuyen a lo largo de la costa, perpendiculares a la línea costera y paralelos entre sí. Durante los cruceros de evaluación de verano (febrero-marzo), la separación entre transectos es de 10 millas náuticas, mientras que en primavera (septiembre-octubre) aumenta a 15 millas náuticas.

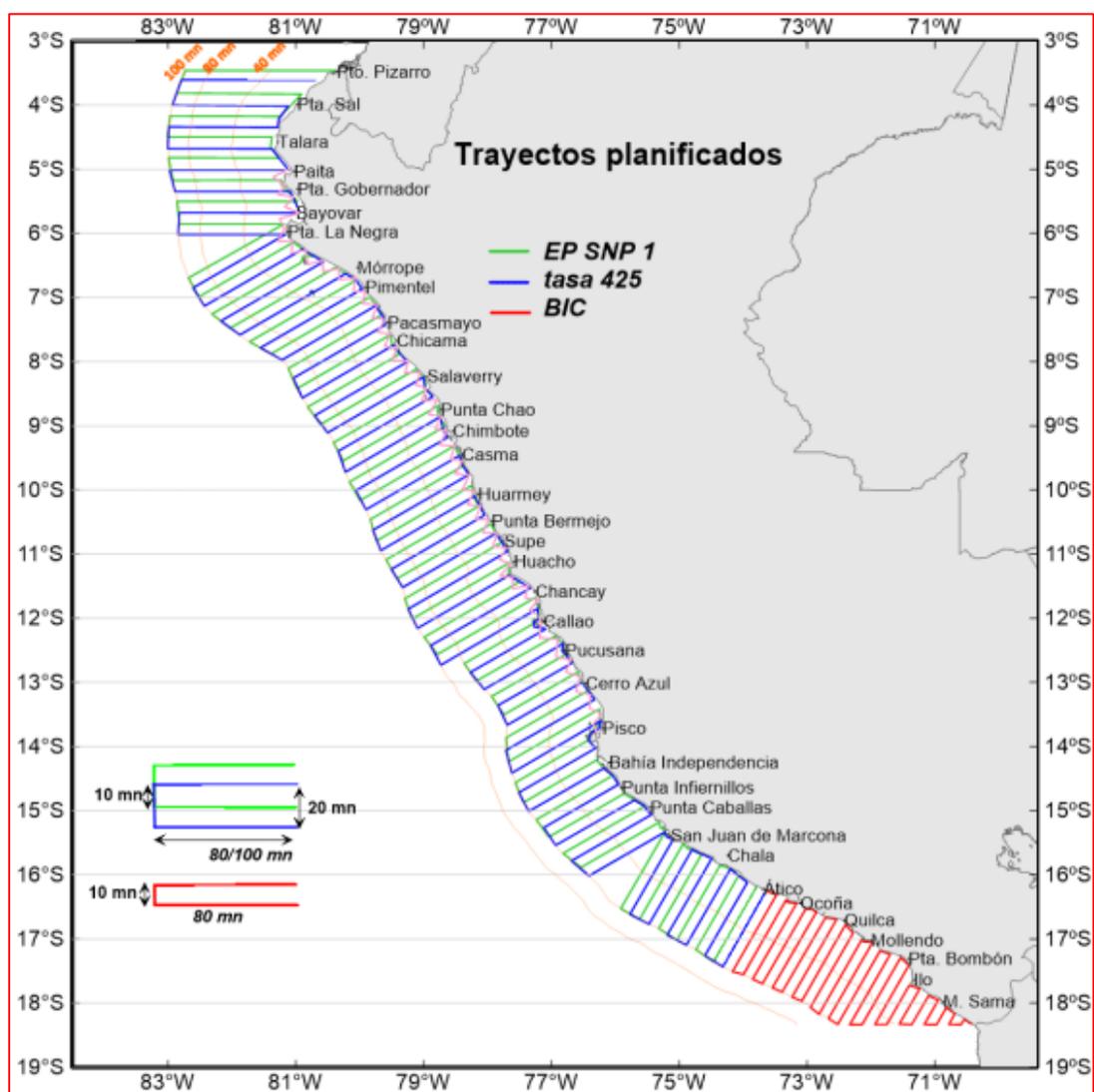
La longitud de los transectos se define durante la planificación de cada crucero, considerando las condiciones del ecosistema marino. Esto permite ajustar su alcance para abarcar el hábitat potencial del recurso evaluado, optimizando así la cobertura del estudio.

El diseño de muestreo sistemático con transectos perpendiculares a la costa es importante en las evaluaciones hidroacústicas de la anchoveta debido a la necesidad de capturar las variaciones espaciales en la distribución (véase Figura 10). Este diseño permite obtener un muestreo homogéneo, abarcando tanto aguas costeras como zonas oceánicas, y considerando las variables oceanográficas relacionadas que influyen en la distribución de la especie. Simmonds y

MacLennan, (2005). En estudios realizados en IMARPE, los transectos separados por 10 millas náuticas y extendidos hasta 100 millas han demostrado ser buenos para mapear áreas donde la anchoveta suele concentrarse en relación con las zonas de afloramiento. Castillo et al., (2019); Fernandes et al., (2002). Además, el enfoque sistemático facilita el análisis de datos acústicos, asegurando resultados reproducibles y confiables para la gestión del recurso. Bertrand et al., (2008).

Figura 10

Transectos sistemáticos perpendiculares a la costa paralelos entre sí durante un crucero típico de evaluación.



Fuente: Elaboración propia

III. APORTES MAS DESTACABLES A LA ENTIDAD

3.1 Rigor y precisión en las estimaciones acústicas de stock de recursos pelágicos

Para sumar en la precisión y rigor en las estimaciones acústicas de los stocks de recursos pelágicos, se han implementado en nuestros cruceros de evaluación diversas metodologías estandarizadas a nivel internacional. Estas contribuciones son importantes para obtener resultados confiables y precisos, esenciales para la gestión sostenible de las poblaciones de peces pelágicos. Este enfoque no solo beneficia al sector, sino que también fortalece el reconocimiento a la entidad y la confianza en los resultados obtenidos. A continuación, se detallan las principales contribuciones:

- **Calibración de equipos acústicos:**

La aplicación de protocolos estandarizados internacionalmente para la calibración de ecosondas, utilizando blancos de calibración como esferas de tungsteno o cobre, asegura que las mediciones de intensidad del eco sean precisas y consistentes. Se siguieron los procedimientos de calibración de blanco estándar, según lo descrito por Demer et al. (2015), lo que garantiza una adecuada corrección de la respuesta del sistema acústico. Al contar con personal experimentado en la implementación de estos protocolos, los resultados obtenidos son más precisos y confiables, mejorando así la fiabilidad de los datos recolectados. Esta experiencia aporta un valor añadido a la entidad, garantizando la calidad y precisión de las estimaciones acústicas. En el Anexo B se muestra un instructivo para la correcta calibración de las ecosondas científicas.

- **Integración de datos complementarios:**

La integración de estimaciones acústicas con datos de capturas de pesca, observaciones directas y modelos e información oceanográfica in-situ ayuda a validar las detecciones acústicas y

proporcionan una visión más completa del estado de los stocks pelágicos. Este enfoque holístico es esencial para una evaluación precisa.

- **Capacitación continua del personal:**

La organización y participación en talleres y cursos especializados aseguran que los técnicos y científicos estén al día con las últimas metodologías y tecnologías acústicas. Esto mejora significativamente la precisión y el rigor de las estimaciones.

3.2 Conocimiento del estado situacional de los recursos pelágicos, continentales y mesopelágicos para la gestión pesquera

Para contribuir al conocimiento de la situación de recursos para la gestión pesquera, se está realizando las siguientes contribuciones clave:

Investigación acústica avanzada:

Estamos aprovechando todas las características avanzadas de la ecosonda modelo EK 80 la marca Simrad-Kongsberg, como su ancho de banda extendido, para mejorar la precisión en la estimación de la distribución y abundancia de especies pelágicas. Actualmente, estamos explorando el uso de sonares omnidireccionales para recopilar datos más completos y precisos. Además, hemos incorporado una ecosonda multihaz 3D Sea Pix, diseñada para reducir los sesgos que existe en la zona entre el transductor y la superficie del mar, lo cual promete mejorar significativamente la calidad de nuestras evaluaciones acústicas.

Estas mejoras tecnológicas no solo amplían nuestras capacidades para obtener datos más detallados y precisos, sino que también fortalecen nuestra capacidad para contribuir de manera significativa al conocimiento y gestión de recursos pelágicos en la pesca.

Monitoreo continuo y evaluaciones temporales:

El Instituto del Mar del Perú (IMARPE) realiza monitoreos acústicos bianuales, de febrero a abril (cruce de verano) y de septiembre a noviembre (cruce de primavera), para evaluar las poblaciones de especies pelágicas, con énfasis en la anchoveta. El resultado de estas evaluaciones, como la biomasa de anchoveta es fundamental para implementar medidas de gestión pesquera sostenibles, como cuotas de pesca y épocas de veda, que contribuyen a la conservación de la anchoveta, una especie clave para el ecosistema marino y la economía peruana.

3.3 Transferencia de Conocimientos:

Compartir los resultados de la investigación con la comunidad científica, gestores pesqueros y partes interesadas, promueve la aplicación efectiva de los hallazgos científicos en la gestión pesquera.

Estas contribuciones no solo amplían nuestro entendimiento del estado y dinámica de los recursos pelágicos, sino que también fortalecen las bases para una gestión pesquera efectiva y sostenible en beneficio de los ecosistemas marinos y las comunidades dependientes de ellos.

Participo en los diferentes trabajos y exposiciones del área, apoyando en el análisis de información, gráficas estadísticas y nuevos enfoques, ya sea como autor principal o como co-autor. Además, realizo gráficos de distribuciones espaciales, verticales y horizontales, y patrones a través de series de tiempo. Trabajo con descriptores acústicos de cardúmenes para ayudar a entender los cambios en su morfología y energía, forzados o influenciados por condiciones ambientales. También desarrollo modelos GAM (Generalized Additive Models) para proporcionar un análisis más profundo y detallado de los datos.

Entre las publicaciones en las que he colaborado son:

- Variabilidad de la anchoveta (*Engraulis ringens*) entre febrero y junio en la zona restringida a la pesca industrial en el inicio la primera temporada de pesca del 2022. (Cuadros et al., 2024)

Este estudio analiza el comportamiento distribucional de la anchoveta (*Engraulis ringens*) en el área entre las latitudes 06° 00' y 11° 59' S durante cuatro actividades de investigación del Imarpe de febrero a junio de 2022. Esta área estuvo inicialmente restringida en la primera temporada de pesca debido a la alta presencia de ejemplares juveniles. El propósito fue observar la redistribución de la anchoveta para proponer medidas de gestión en la sostenibilidad pesquera. Durante las actividades 1 y 2, se observó una alta concentración y abundancia de anchoveta, mientras que en las actividades 3 y 4, la anchoveta se dispersó migrando hacia áreas alejadas de costa. Esta variabilidad en la distribución afectó los descriptores energéticos y morfométricos, con valores altos con altas concentraciones y menores cuando se encontraba dispersa. En la franja costera de 55.56 km (30 millas náuticas), se registró una superposición de juveniles y adultos, con un crecimiento somático normal entre las actividades 1 y 4. Las modas principales en cada actividad fue de 8.5, 10, 9.5 y 10.5 cm, respectivamente. La biomasa varió de 6.86 millones de toneladas en la actividad 1 y a 3.00 millones en la actividad 4, influida por condiciones oceanográficas y la productividad de la clorofila-a.

- Abundancia de anchoveta (*Engraulis ringens*) y otras especies pelágicas en el ecosistema marino peruano determinados por acústica en 2021. (Castillo et al., 2023)

Un estudio realizado en 2021 sobre la abundancia de especies marinas en la Región Norte del Sistema de la Corriente de Humboldt confirmó que la anchoveta sigue siendo la especie dominante en el ecosistema. Sin embargo, se observó una variabilidad significativa en la

distribución y abundancia de otras especies como el jurel, la caballa, la samasa, el bagre, la pota y la vinciguerría. La distribución de la anchoveta presentó una heterogeneidad a lo largo de la costa, influenciada por factores oceanográficos como la temperatura y la salinidad.

Los análisis de los descriptores acústicos arrojaron valores estadísticos como medias, desviaciones estándar y coeficientes de variación, los cuales proporcionan información cuantitativa sobre la estructura y el comportamiento de los cardúmenes. Estos datos permiten, por ejemplo, determinar la densidad, el tamaño y la distribución espacial de los cardúmenes.

Estos hallazgos resaltan la importancia de comprender la dinámica de las poblaciones marinas para su adecuada conservación y manejo. Un conocimiento para establecer estrategias sostenibles que garanticen la salud a largo plazo de las especies y el equilibrio del ecosistema.

- Distribución y biomasa de los principales recursos pelágicos determinados por acústica, verano- otoño 2021. (Castillo et al., 2022a, 2023).

El objetivo fue determinar la distribución y biomasa de la anchoveta y otras especies pelágicas como jurel, caballa, samasa, bagre, múnida y meso pelágicas como pota y vinciguerría. En el crucero 2102-04 la anchoveta se encontró en la franja costera de 80 mn en la región norte-centro con una distribución continua y áreas densas, destacándose la continuidad entre Paita y bahía Independencia, una distribución costera entre Paita y Mórrope, y amplia entre Chicama y Chimbote. En el crucero 2106-07, en la región sur, la distribución fue similar, con alta densidad entre Punta Infiernillos e Ilo, y áreas densas entre San Juan de Marcona y Chala. Los adultos se localizaron principalmente entre Mórrope y San Juan de Marcona, mientras que los juveniles se concentraron cerca de la costa en varias áreas, con mayor presencia en el sur. Verticalmente, los cardúmenes se registraron entre 0.86 y 77.58 m, mayormente en la capa superficial de 30 m en ciertas zonas. La abundancia fue alta a lo largo del litoral, con mayor retrodispersión acústica

durante el día (-41.67 dB) que en la noche (-44.32 dB). La biomasa total de anchoveta se estimó en 12.03 millones de toneladas, concentrada principalmente en la región norte-centro (10.99 millones de toneladas).

Se realizó la calibración a la ecosonda científica obteniendo los siguientes resultados la raíz cuadrática media (RMS) de las mediciones acústicas con blanco estándar fueron muy aceptables ($\text{RMS} > 0.2 \text{ dB}$) o excelentes ($\text{RMS} < 0.2 \text{ dB}$) en todos los buques. La estimación de biomasa de la anchoveta se realizó a una frecuencia de 120 kHz. La velocidad del sonido en el agua de mar varió entre 1509.5 y 1521.2 m/s en ambos cruceros. En todas las frecuencias de sonido se utilizó una duración de pulso de 512 μs .

- Biomasa y distribución de los principales recursos pesqueros del lago Titicaca. (Valdez y Cuadros, G. 2022).

El objetivo de este trabajo fue determinar la abundancia, distribución espacial y biomasa de *Orestias ispi*, *Orestias luteus*, *Orestias agassii*, *Odontesthes bonariensis* y *Oncorhynchus mykiss*. Se estimó que la biomasa acústica en toneladas de *O. ispi*, *O. luteus*, *O. bonariensis* y *O. mykiss* en el área de estudio fue de 50,844; 1019; 9932 y 14,150, respectivamente. Se observó que el *ispi* tiene un patrón de comportamiento vertical, distribuyéndose continuamente desde profundidades de 40 a 110 metros, en capas de aproximadamente 30 metros de altura. Todos los valores calculados de Centro de Gravedad se encuentran dentro de una circunferencia con un diámetro de 10.42 millas náuticas frente a la Isla Taquile.

- Abundancia de anchoveta (*Engraulis ringens*) y otras especies pelágicas estimadas por el método hidroacústico en el ecosistema marino peruano en el 2020. (Castillo et al., 2021)

El estudio encontró que las especies más abundantes en la zona costera eran la anchoveta y la munida, mientras que, en la zona oceánica destacaban el calamar gigante y la vinciguerría. En el crucero de investigación Cr. 2002-03, la anchoveta se encontró retraída hacia la costa, hasta 42 millas náuticas mar adentro, con una biomasa estimada en 9.52 millones de toneladas. En el Cr. 2009-11, la anchoveta mostró una distribución dispersa, encontrándose hasta 110 millas náuticas mar adentro, con una biomasa de 11.05 millones de toneladas. A nivel vertical se encontró que en el Cr. 2002-03, la anchoveta se encontró principalmente en la capa superficial con una profundidad media de 9.7 m, aunque se registraron cardúmenes hasta los 84.7 m, particularmente al norte de las islas Lobos de Afuera, Pacasmayo, San Juan de Marcona y Ocoña. En el Cr. 2009-11, la profundidad media aumentó ligeramente a 11.9 m, con cardúmenes más someros frente a Punta Sal, Huarney y Atico-Sama, y los más profundos en Salaverry, Callao y Pisco. En 2020, las condiciones oceanográficas se consideraron normales, por lo que el estado de la población de anchoveta era saludable.

- Calamar gigante *Dosidicus gigas* en el mar peruano, primavera 2019. Cr. 1911-12. (Mariátegui et al., 2021).

En 2019 se estimó la abundancia, estado biológico y poblacional, del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el mar peruano. Teniendo como resultados que el calamar gigante se distribuyó ampliamente a lo largo de la costa peruana, con mayores densidades en el norte y el centro, especialmente frente a Punta Sal y Salaverry. La distribución del calamar gigante fue mayoritariamente dispersa y muy dispersa, cubriendo el 94.9% del área evaluada con densidades

valores NASC (Coeficiente Náutico de Retrodispersión) entre 1-10 m^2/mn^2 (muy dispersa) y 50-100 m^2/mn^2 (dispersa). Solo el 5.13% del área correspondió a zonas con alta concentración. Las mayores concentraciones se encontraron entre Punta Sal y Salaverry ($4^{\circ}S-8^{\circ}30'S$) a distancias de 80 a 190 mn de la costa, con núcleos densos también presentes entre Mollendo e Ilo en un área de 213 mn^2 , a profundidades de 40 a 195 mn. Las concentraciones más altas se encuentran entre Punta Sal y Salaverry, con áreas de menor abundancia frente a Ancón-Pucusana y entre Pisco-Atico. Verticalmente, se distribuye entre 2 y 420 metros de profundidad, predominando a más de 150 metros durante el día y hasta 90 metros por la noche. En total, el calamar gigante ocupa un área de 51,896 mn^2 , representando el 30.4% del área evaluada, con mayores concentraciones acústicas en las latitudes $3^{\circ}S-4^{\circ}S$ y $13^{\circ}S$.

- Distribución y biomasa de recursos pelágicos neríticos y oceánicos en el ecosistema marino peruano obtenidos de los cruceros hidroacústicos en el 2019. (Castillo et al., 2020).

En 2019 se llevaron a cabo dos cruceros de Evaluación Hidroacústica de recursos pelágicos: uno en verano (Cr. 1902-03) entre el 12 de febrero y el 27 de marzo, y otro en primavera (Cr. 1909-11) entre el 29 de septiembre y el 15 de noviembre. Estos cruceros se realizaron en buques del IMARPE y en embarcaciones de la Sociedad Nacional de Pesquería para aumentar los muestreos biológicos y acústicos. Los resultados de ambos cruceros fueron analizados para determinar la distribución y biomasa de especies pelágicas neríticas como la anchoveta, múnida, samasa y bagre, y de especies oceánicas como el jurel, caballa, pota y vinciguerría en el ecosistema marino peruano. La distribución se determinó mediante interpolación de datos por kriging y la biomasa a través de la estratificación por áreas isoparalitorales. En la zona costera, las especies más abundantes fueron la anchoveta y la múnida, mientras que en la zona oceánica predominaron

la pota y la vinciguerría. La anchoveta se registró cerca de la costa hasta 72 millas náuticas, con una biomasa de 8.82 millones de toneladas en verano, y más alejada de la costa hasta 115 millas náuticas, con una biomasa de 8.38 millones de toneladas en primavera. La múnida se distribuyó entre Chimbote y Sama en verano, y entre Bayovar y Sama en primavera. El jurel y la caballa mostraron una mayor biomasa y presencia en primavera (797,262 y 791,459 toneladas, respectivamente). De manera similar, la pota y la vinciguerría presentaron mayores áreas de distribución y biomásas (759,274 y 1,270,707 toneladas, respectivamente).

Las condiciones oceanográficas fueron normales o neutras durante la mayor parte del año. Se concluye que la biomasa de la anchoveta continuó siendo abundante en comparación con otras especies pelágicas neríticas y oceánicas, y la presencia de juveniles en 2019 sugiere que su manejo debe ser cauteloso.

Liderazgo en Evaluaciones Hidroacústicas y Equipo Multidisciplinario

Durante mi trayectoria en IMARPE he tenido el privilegio de desempeñar un papel como líder, especialmente en el ámbito de las evaluaciones hidroacústicas. Como jefe de crucero en varias ocasiones, he dirigido equipos multidisciplinarios compuestos por expertos en oceanografía y biología marina. Mi rol no solo ha consistido en coordinar las actividades en el mar, sino también en asegurar que cada fase de las evaluaciones se lleve a cabo de manera eficiente y precisa. Además, he sido responsable de la planificación estratégica de las expediciones, garantizando que se cumplan los objetivos científicos y que los datos recopilados sean de alta calidad para contribuir significativamente al conocimiento y la conservación del ecosistema marino. Mi liderazgo ayudado a fomentar un ambiente de colaboración y excelencia científica, promoviendo el aprendizaje y la innovación dentro del equipo.

Durante los cruceros entre los años 2020 y 2021, en plena pandemia, tuve la importante labor de liderar el equipo en las evaluaciones hidroacústicas, además de coordinar el procesamiento acústico y las estimaciones de biomasa. Este período desafiante destacó mi capacidad para mantener la eficiencia operativa y el compromiso científico a pesar de las restricciones globales. Nuestro trabajo resultó en datos significativos que han contribuido a la gestión pesquera, destacando el éxito durante los años de pandemia para el desarrollo de la pesca industrial de anchoveta. En la primera temporada de pesca de anchoveta de 2020 se capturó el 97.97% de la cuota asignada (Gestión, 2020), y la segunda temporada generó mil millones de dólares en divisas, demostrando la importancia de mantener la investigación continua incluso en circunstancias adversas (Sociedad Nacional de Pesquería, 2020).

IV. CONCLUSIONES

- En el rol como asistente de investigaciones en hidroacústica en el Instituto del Mar del Perú (IMARPE), he comprendido su importancia en pro de la gestión sostenible de los recursos marinos. Aplicando la hidroacústica, programación y equipos de sonar, he contribuido a la determinación y análisis de la distribución y abundancia de especies marinas, integrando conocimientos multidisciplinarios de aspectos físicos, biológicos y oceanográficos a lo largo de estos años y en varias oportunidades liderando los cruceros de investigación. Los resultados obtenidos a través de análisis estadísticos y geoestadísticos han servido como base para tomas de decisiones en la gestión pesquera. Estos cruceros de evaluación de recursos pelágicos, utilizan ecosondas científicas y programas informáticos especializados para procesar la información acústica, proporcionan una visión integral del ecosistema marino en un período de 4 a 5 semanas. La metodología empleada sigue un diseño rectangular sistemático para garantizar un muestreo uniforme, aunque requiere recursos considerables, como plataformas de investigación y personal especializado.
- El Instituto del Mar del Perú (IMARPE) desempeña un papel crítico en la gestión sostenible de los recursos marinos y la protección del medio ambiente marino en Perú. A través de sus cinco direcciones generales, IMARPE no solo cuantifica y gestiona los stocks de recursos pelágicos y demersales, sino que también realiza investigaciones avanzadas en oceanografía, cambio climático y acuicultura. Con más de sesenta años de experiencia, este organismo técnico proporciona las bases científicas necesarias para el ordenamiento pesquero nacional y la promoción de la seguridad alimentaria, demostrando así su compromiso con el aprovechamiento sostenible y la preservación de

los ecosistemas marinos peruanos. La formación académica recibida en ingeniería pesquera en la Universidad Nacional Federico Villarreal ha dotado de las herramientas teóricas y prácticas necesarias para abordar diversos aspectos de la pesquería. Como egresado, puedo desempeñar un papel en la investigación científica y el desarrollo tecnológico aplicado al campo pesquero. En mi trabajo actual como ingeniero pesquero, mi enfoque se centra en la evaluación de recursos mediante la aplicación de métodos acústicos cuantitativos para la evaluación de recursos pesqueros.

V. RECOMENDACIONES

- Para mejorar las evaluaciones hidroacústicas en IMARPE se recomienda profundizar en el desarrollo de métodos de análisis que permitan aprovechar la capacidad de banda ancha que utiliza el IMARPE. Las ecosondas que usa hoy en día son las de marca Simrad (Kongsberg, Noruega) modelo EK80 de banda ancha operando con frecuencias de 18, 38, 70, 120 y 200 kHz. Estos sistemas de emitir pulsos en frecuencia modulada y generan una alta cantidad de información, que por su volumen actualmente es difícil de manejar. Por esta razón, estas ecosondas vienen siendo utilizadas en su modo convencional (“continuous wave” CW) hasta que las mejoras tecnológicas que cabe esperar genere procesadores y medios de almacenamiento que estén acorde con el volumen de datos que se tiene la capacidad de coleccionar.
- Otra recomendación más asequible es la de actualizar las versiones de software Echoview (Echoview Pty., Australia) que actualmente utiliza IMARPE. Este retraso en el uso de la versión actual de Echoview impide acceder a múltiples rutinas y operadores que permiten un análisis más rápido y eficiente de la data acústica coleccionada por la entidad. En este sentido es conveniente mencionar que Echoview es el que es más utilizado en la enseñanza de métodos acústicos cuantitativos en la FOPCA.
- Se recomienda asimismo integrar tecnologías avanzadas como los vehículos autónomos AUV (Autonomous Underwater Vehicles) y ROV (Remotely Operated Vehicles), que amplían la cobertura y permiten recopilar datos en áreas de difícil acceso. Estas herramientas pueden complementarse con el uso de embarcaciones de menor calado, capaces de operar en zonas costeras y reducir los sesgos en la evaluación en áreas de cercanas a la orilla, especialmente durante eventos como El Niño, cuando la anchoveta

suele desplazarse hacia la costa y luego profundizarse.

- La capacitación del personal en tecnologías hidroacústicas también es esencial. Participar en programas de formación en países pioneros como Noruega y España fomentaría la adopción de nuevas metodologías, el intercambio de experiencias y la optimización del análisis de datos acústicos. Esta formación debe incluir el uso de enfoques multifrecuencia y algoritmos automáticos supervisados para mejorar precisión en la discriminación de especies.
- Otra recomendación es moderniza con una nueva embarcación de investigación, asegurando que esté equipada con tecnología acústica actual, como sonares omnidireccionales y sistemas tridimensionales. Esto facilitaría no solo la estimación de la biomasa, sino también el análisis del comportamiento y las interacciones ecológicas de los recursos. Además, contar con condiciones de habitabilidad adecuadas permitiría cruceros prolongados y más eficientes.
- Se sugiere también desarrollar investigaciones que complementen la evaluación de biomasa, como el análisis de la fuerza de blanco y el estudio del comportamiento de los recursos bajo un enfoque ecosistémico. Estas investigaciones pueden beneficiarse del uso de tecnologías multifrecuencia y de la automatización en la detección de señales acústicas, lo que optimizaría tanto la eficiencia como la calidad de los datos obtenidos.

VI. REFERENCIAS

- Burczynski, J. (1982). *Introduction to the use of sonar systems for estimating fish biomass. Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=mWBOSMVJ1DMC>
- Bertrand A, Gerlotto F, Bertrand S, Gutiérrez M, Alza L, Chipollini A, et al. (2008). Schooling behaviour and environmental forcing in relation to anchoveta distribution: An analysis across multiple spatial scales. *Progress in Oceanography*. 2008;79:264–77. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.003>
- Castillo, R., Dalla Rosa, L., García Diaz, W., Madureira, L., Gutiérrez, M., Vásquez, L., y Koppelman, R. (2019). Anchovy distribution off Peru in relation to abiotic parameters: A 32-year time series from 1985 to 2017. *Fisheries Oceanography*, 28(4), 389–401. <https://doi.org/10.1111/fog.12419>
- Castillo, P. R., Grados, D., La Cruz, L., Cuadros, G., Valdez, C., Pozada, M., Chacón, G., y Cornejo, R. (2023). Abundancia de anchoveta (*Engraulis ringens*) y otras especies pelágicas en el ecosistema marino peruano determinados por acústica en 2021. *Boletín - Instituto del Mar del Perú*, 38(1), 131-166. <https://doi.org/10.53554/boletin.v38i1.385>
- Castillo, P. R., La Cruz Aparco, L., Grados, D., Cornejo, R., Guevara, R., y Csirke, J. (2022b). *Anchoveta (Engraulis ringens) biomass in the Peruvian marine ecosystem estimated by various hydroacoustic methodologies during spring of 2019: A recent study. En Book Publisher International (a part of SCIENCEDOMAIN International) (pp. 35-55)*. <https://doi.org/10.9734/bpi/nvbs/v8/2118e>

- Castillo, P. R., Valdez, C., Grados, D., Pozada, M., Cuadros, G., Paz, A., Cornejo, R., y Escudero, L. (2022a). Distribución y biomasa de los principales recursos pelágicos determinados por acústica, verano-otoño 2021. *Informe del Instituto del Mar del Perú*, 49(2), 175–192. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/4777>
- Castillo, R., Cornejo, R., La Cruz, L., Grados, D., Cuadros, G., Valdez, C., Paz, A., y Pozada, M. (2021). Abundancia de anchoveta (*Engraulis ringens*) y otras especies pelágicas estimadas por el método hidroacústico en el ecosistema marino peruano en el 2020. *Informe Instituto del Mar Perú*, 48(3), 327-349. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3599>
- Castillo, R., La Cruz, L., Cornejo, R., Grados, D., Valdez, C., y Chacón, G. (2020). Distribución y biomasa de los principales recursos pelágicos, neríticos y oceánicos en el ecosistema marino peruano obtenidos en los cruceros hidroacústicos, 2018. *Boletín del Instituto del Mar del Perú*, 35(2), 185–212. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3499>
- Castillo, R., Peraltilla, S., Aliaga, A., Flores, M., Ballón, M., Calderón, J., y Gutiérrez, M. (2009). Protocolo técnico para la evaluación acústica de las áreas de distribución y abundancia de recursos pelágicos en el mar peruano. Versión 2009. *Informe del Instituto del Mar del Perú*, 36(1–2), 7–28. <https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/2001>
- Cuadros, G. R., Castillo, P. R., La Cruz, L., Valdez, C., Peña, C., Chacón, G., Escudero, L., y Salcedo, J. (2024). Variabilidad de la anchoveta (*Engraulis ringens*) entre febrero y junio en la zona restringida a la pesca industrial en el inicio de la primera temporada de pesca del 2022. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 53(1), 145–166. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2024.53.1.1246>
- Cuadros, G. R., Cornejo, R., Grados, D., Castillo, R., Valdez, C., Pozada, M., y Solis, L. (2024, 8-10 de mayo). *Análisis temporal de los descriptores acústicos de cardúmenes de anchoveta:*

- serie 2012-2023* [Presentación virtual]. *El Niño 2023-2024: Efectos y proyecciones en el mar y sus recursos vivos*, Lima, Perú.
- Demer, D. A., Berger, L., Bernasconi, M., Bethke, E., Boswell, K., Chu, D., Domokos, R., Dunford, A., Fässler, S., Gauthier, S., Hufnagle, L., Jech, J., Bouffant, N., Lebourges-Dhaussy, A., Lurton, X., Macaulay, G., Perrot, P., Ryan, T., Parker-Stetter, S., Stienessen, S., Weber, T., y Williamson, N. (2015). *Calibration of acoustic instruments*. ICES Cooperative Research Report, 326, 133 pp. <http://hdl.handle.net/11329/626>
- Echoview Software Pty Ltd. (2018). *Echoview* [Software]. Recuperado de <https://echoview.com>
- Francis, R. I. C. C. (1984). An adaptive strategy for stratified random trawl surveys. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 18(1), 59–71. <https://doi.org/10.1080/00288330.1984.9516042>
- Fernandes, P. G., Gerlotto, F., Holliday, D. V., Nakken, O., y Simmonds, E. J. (2002). Acoustic applications in fisheries science: The ICES contribution. *ICES Marine Science Symposia*, 215, 483–492. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.8889>
- Foote, K. G. (1983). Linearity in fisheries acoustics, with addition theorems. *Journal of the Acoustical Society of America*, 73(6), 1932–1940. <https://doi.org/10.1121/1.389669>
- Foote, K. G. (1987). Fish target strength for use in echointegrator surveys. *Journal of the Acoustical Society of America*, 82, 981–987. <https://doi.org/10.1121/1.395018>
- Gestión. (2020, julio 31). *Al cierre de la primera temporada de pesca de anchoveta se capturó el 97.97% de la cuota asignada*. Gestión. <https://gestion.pe/economia/al-cierre-de-la-primer-temporada-de-pesca-de-anchoveta-se-capturo-el-9797-de-la-cuota-asignada-nndc-noticia/>

- Gutiérrez, M., y MacLennan, D. N. (1998). Resultados preliminares de las mediciones de fuerza de blanco in situ de las principales especies pelágicas. *Informe del Instituto del Mar del Perú*, 135, 16-19. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1481>
- Gutiérrez, M. (1999). Mediciones *in situ* de TS a finales de la primavera 1998. *Crucero BIC José Olaya Balandra 9811-12. Informe del Instituto del Mar del Perú*, 146, 7–10. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1563>
- Gutiérrez, M., y Peraltilla, S. (1999). Aplicación de un sistema de información geográfica y de la carta electrónica isoparalitoral en las evaluaciones hidroacústicas de la biomasa de recursos pesqueros en el mar peruano. *Informe del Instituto del Mar del Perú*, 146, 25–29. <https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/1568>
- Gutiérrez, M. (2002). *Determinación de la fuerza de blanco de las principales especies del mar peruano* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Federico Villarreal]. 81 pp. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/1464>
- Gutiérrez, M. (2014). *Curso de Acústica Submarina* [Material de curso inédito]. Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura, Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Haris, K., Kloser, R., Ryan, T., y Malan, J. (2018). Deep-water calibration of echosounders used for biomass surveys and species identification. *ICES Journal of Marine Science*, 75, 1117–1130. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx206>
- Howe, B., Miksis-Olds, J., Rehm, E., Sagen, H., Worcester, P., y Haralabus, G. (2019). Observing the oceans acoustically. *Frontiers in Marine Science*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00426>

- ICES. (2007). *Collection of acoustic data from fishing vessels* (ICES Cooperative Research Report No. 287, 83 pp.). International Council for the Exploration of the Sea. Recuperado de <https://webcat.niwa.co.nz/documents/ICRR287.pdf>
- Jolly, G. M., y Hampton, I. (1990). A stratified random transect design for acoustic surveys of fish stocks. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 47(7), 1282–1291. <https://doi.org/10.1139/f90-147>
- Kongsberg Maritime. (2008). Simrad EK60 scientific echo sounder: Reference manual (Release 2.2.0, Rev. C). https://simrad.online/ek60/ek60_ref_en_a4.pdf.
- Kongsberg Maritime AS. (n.d.). *Catálogo general de productos de pesca* [Catálogo en PDF]. Simrad Fisheries. Recuperado de https://www.simrad.online/cat/es/fishery_all_es_a4_lores.pdf
- Lee, K., Marroquín, J., y Mathew, G. (2024). *Echopype: A Python-based tool for acoustic data processing*. *ICES Journal of Marine Science*, 81(10), 1941–1951. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsae133>
- MacLennan, D. N., y Simmonds, E. J. (1992). *Fisheries acoustics*. Chapman and Hall.
- MacLennan, D. N., y Menz, A. (1996). Interpretation of in situ target strength data. *ICES Journal of Marine Science*, 53(2), 233–236. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1996.0032>
- MacLennan, D. N. (1998). Revisión de los resultados obtenidos durante el Crucero 9803-05 de evaluación hidroacústica de recursos pelágicos. *Informe del Instituto del Mar del Perú*, 135, 191–201. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1508>
- Mariátegui, L., Sanjinez, M., Mendoza, J., Tafur, R., Espinoza, E., Flores, O., Cuadros, G., Domínguez, N., Beltrán, L., Chambilla, J., Rodríguez, A., Orosco, L., Barturen, J.,

- Sarmiento, M., y Yamashiro, C. (2021). *Calamar gigante Dosidicus gigas en el mar peruano, primavera 2019. Cr. 1911-12*. Informe Instituto del Mar del Perú, 48(4), 610-635. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1508>
- Merrick, R. (2017). Mechanisms for science to shape US living marine resource conservation policy. *ICES Journal of Marine Science*, 75(7), 2319-2324. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx228>
- Ministerio de la Producción. (2024, junio 4). Produce: Primera temporada de anchoveta en la zona norte-centro tiene un avance de 92% de captura. *Gob.pe*. <https://www.gob.pe/institucion/produce/noticias/966136-produce-primera-temporada-de-anchoveta-en-la-zona-norte-centro-tiene-un-avance-de-92-de-captura>
- NIWA. (2021). *ESP3: Acoustic survey software*. National Institute of Water and Atmospheric Research. <https://www.niwa.co.nz/our-services/esp3>
- O'Driscoll, R. L., Bagley, N. W., Ballara, S. L., y Oeffner, J. (2014). Trawl and acoustic survey of hoki and middle depth fish abundance on the west coast South Island, July–August 2012 (TAN1210). New Zealand Fisheries Assessment Report, 2014/09. Recuperado de <https://deepwatergroup.org/wp-content/uploads/2017/07/ODriscoll-et-al-2014-WCSI-Trawl-survey-2012-1.pdf>
- Petitgas, P. (1991). *Contributions géostatistiques à la biologie des pêches maritimes* [Tesis doctoral, École nationale supérieure des mines]. [s.n.]. <https://www.sudoc.fr/04414945X>
- Reid, D. G. (Ed.). (2000). *Report on echo trace classification*. ICES Cooperative Research Report, 238, 115 pp. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.5371>.

- Renfree, J., Andersen, L., Macaulay, G., Sessions, T., y Demer, D. (2020). Effects of sphere suspension on echosounder calibrations. *ICES Journal of Marine Science*, 77, 2945-2953. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa171>.
- Rivoirard, J., Simmonds, J., Foote, K. G., Fernandes, P., y Bez, N. (2000). *Geostatistics for estimating fish abundance*. Blackwell Science.
- Simmonds, J., y MacLennan, D. (2005). *Fisheries acoustics: Theory and practice* (2nd ed.). Blackwell Science.
- Simmonds, E. J., Gutiérrez, M., Chipollini, A., Gerlotto, F., Woillez, M., y Bertrand, A. (2009). Optimizing the design of acoustic surveys of Peruvian anchoveta. *ICES Journal of Marine Science*, 66(6), 1341–1348. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp118>
- Sociedad Nacional de Pesquería. (2020, diciembre 31). Segunda Temporada de Pesca generó mil millones de dólares en divisas. *Sociedad Nacional de Pesquería*. <https://snp.org.pe/snp-segunda-temporada-de-pesca-genero-mil-millones-de-dolares-en-divisas/>
- Ticse, E., Valdivia, C., Ugarte, R., Briceño, J., Vera, G., Neyra, K., y Neyra, L. (2021). Importancia de la industria pesquera en el Perú, un enfoque hacia el desarrollo sostenible de la misma. *LACCEI International Multiconference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Development - LEIRD 2021: Ideas to Overcome and Emerge from the Pandemic Crisis*, 1–9. https://laccei.org/LEIRD2021-VirtualEdition/full_papers/FP24.pdf

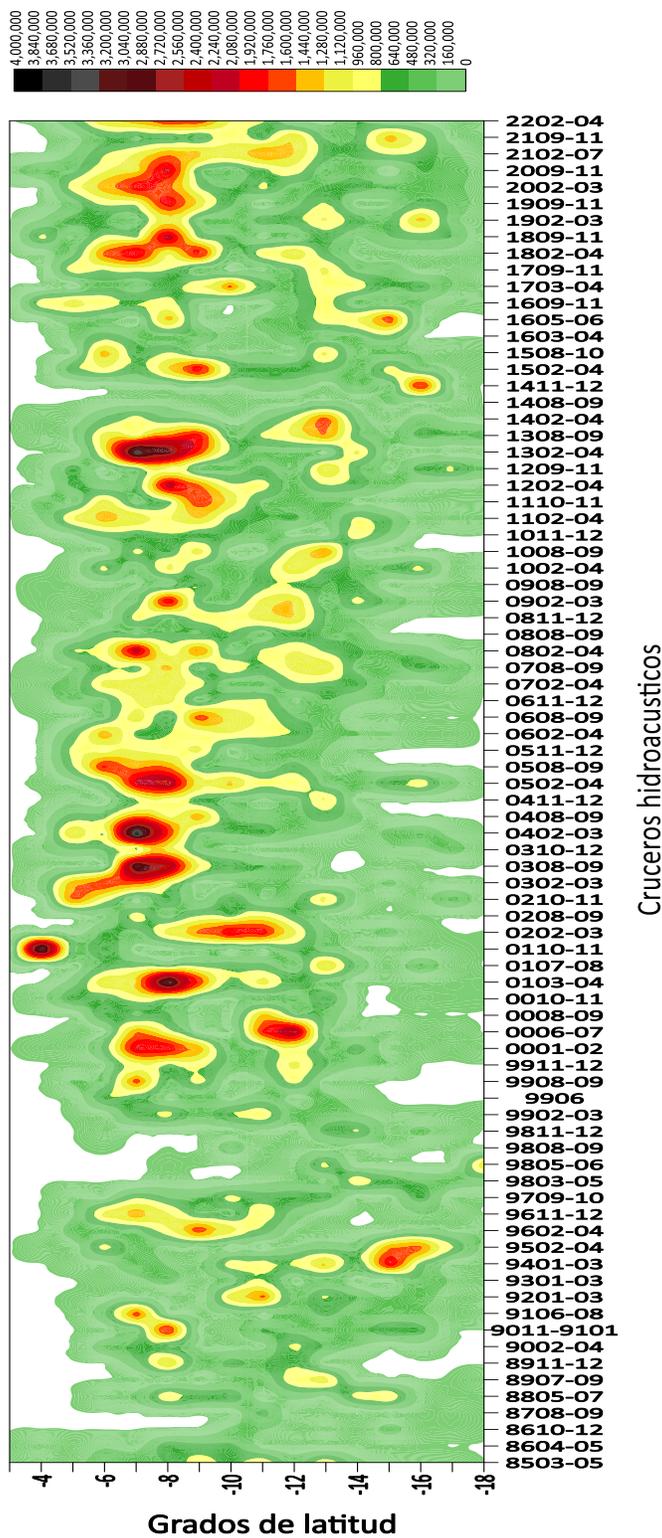
- Valdez, C., y Cuadros, G. (2022). Biomasa y distribución de los principales recursos pesqueros del lago Titicaca. *Informe del Instituto del Mar del Perú*, 49(4), 523–531.
<https://hdl.handle.net/20.500.12958/5913>
- Vallarta, R., Rojas-González, R., y Huidobro, L. (2021). *Evaluación acústica de sardina crinuda (Opisthonema spp.) en la plataforma continental de Chiapas durante la primavera del 2021*. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/357753854_EVALUACION_ACUSTICA_DE_SARDINA_CRINUDA_Opisthonema_spp_EN_LA_PLATAFORMA_CONTINENTAL_DE_CHIAPAS_DURANTE_LA_PRIMAVERA_DEL_2021
- Wassermann, S. N., y Johnson, M. P. (2020). The potential to improve the sustainability of pelagic fisheries in the Northeast Atlantic by incorporating individual fish behavior into acoustic sampling. *Frontiers in Marine Science*, 7, 357.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00357>
- Worm, B., Hilborn, R., Baum, J. K., Branch, T. A., Collie, J. S., Costello, C., Fogarty, M. J., Fulton, E. A., Hutchings, J. A., Jennings, S., Jensen, O. P., Lotze, H. K., Mace, P. M., McClanahan, T. R., Minto, C., Palumbi, S. R., Parma, A. M., Ricard, D., Rosenberg, A. A., Watson, R., y Zeller, D. (2009). Rebuilding global fisheries. *Science*, 325(5940), 578-585. <https://doi.org/10.1126/science.1173146>
- Yang, L., Chen, Y., y Zhang, J. (2019). Calibration of echosounder using standard target method. *MATEC Web of Conferences, FCAC 2018*, 05005.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201925005005>

Zwolinski, J. P., y Demer, D. A. (2014). Environmental and parental control of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) recruitment. *ICES Journal of Marine Science*, 71(8), 2198–2207.

<https://doi.org/10.1093/icesjms/fst173>

VII.ANEXOS

ANEXO A. Diagrama Hovmoler de las biomásas de anchoveta entre los años 1985 al 2022



ANEXO B. Instructivo para la calibración de una ecosonda científica usando el software EK-80



Anexo: Procedimientos de datos para calibrar la frecuencia de 120 kHz "CW"

Paso 1: Reconocer el modelo del transductor instalado

3. Visualizar el modelo del transductor instalado



The screenshot displays the EK-80 software interface. The 'Instalación del transceptor' window is open, showing a table of installed transducers. The 'Estado' column for the selected transducer is highlighted with a red box and a circled '3'. Below this window, a 'Configurar' menu is visible, with 'Instalación' and 'Instalación del transceptor' highlighted by red boxes and numbered '1' and '2' respectively. A 'Sub-menú Herramientas' is also indicated by an arrow pointing to the top right of the menu.

Nombre	Estado
ES120-7C	Instalado

Sub-menú Herramientas

1. Dar clic en "Instalación"

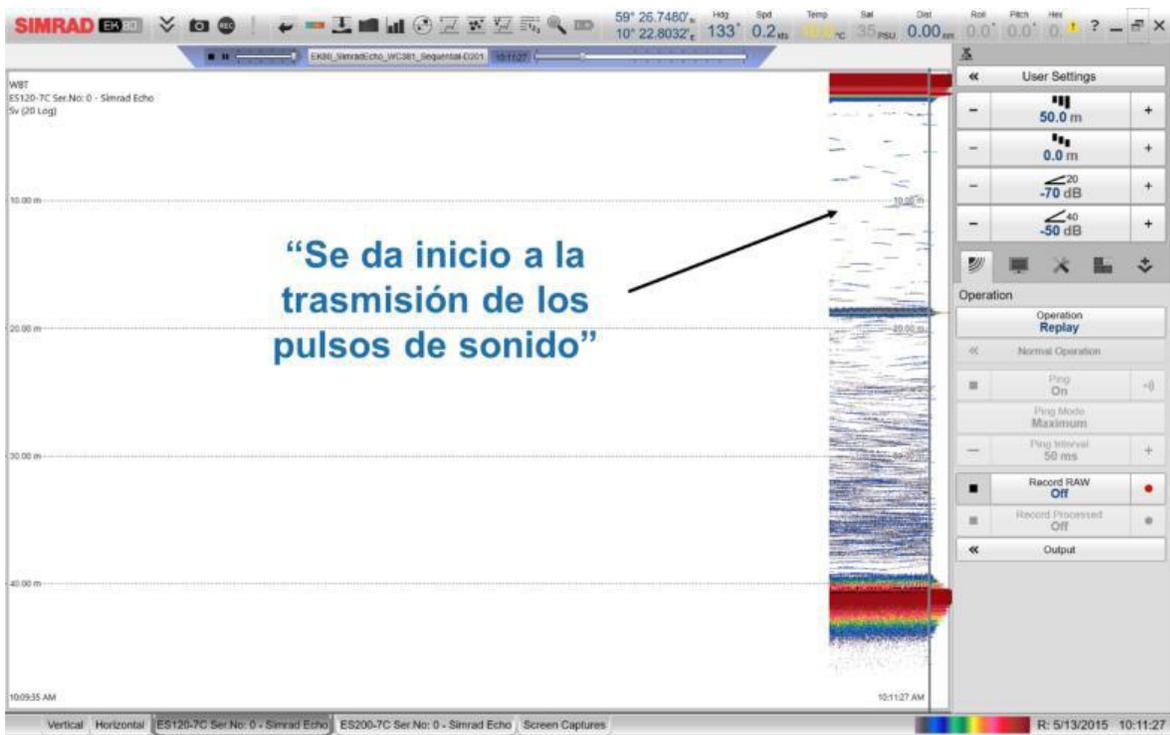
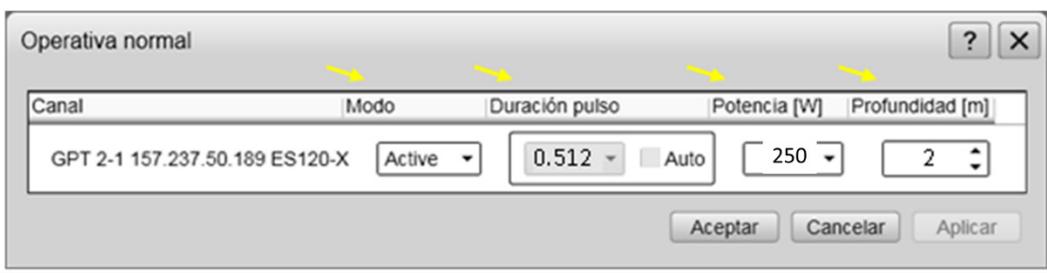
2. Dar clic en "Instalación del transceptor"

Paso 2: Configurar la duración de pulso y potencia

2. Configurar la potencia y la duración de pulso

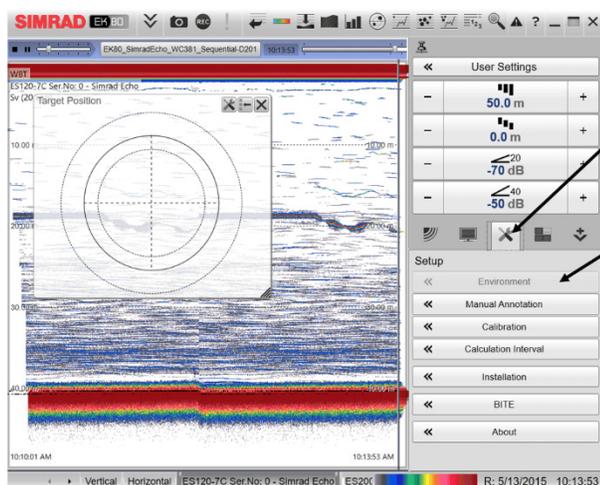
Clic en el icono operativa/operativa normal/seleccionar modo activo/duración pulso en 0.512/potencia en 250 watts/profundidad en 2 m (según la ubicación física del transductor)/aceptar

1. clic en el sub menú "Operativa"



Paso 3: Configurar la velocidad del sonido

1. Primero debemos configurar la *velocidad del sonido*: **Clic izquierdo en el sub-menú configurar/instalación/environment**



1. clic en la herramienta configurar



2. clic en environment para configurar los valores de temperatura y salinidad para el calculo automatico de la velocidad del sonido



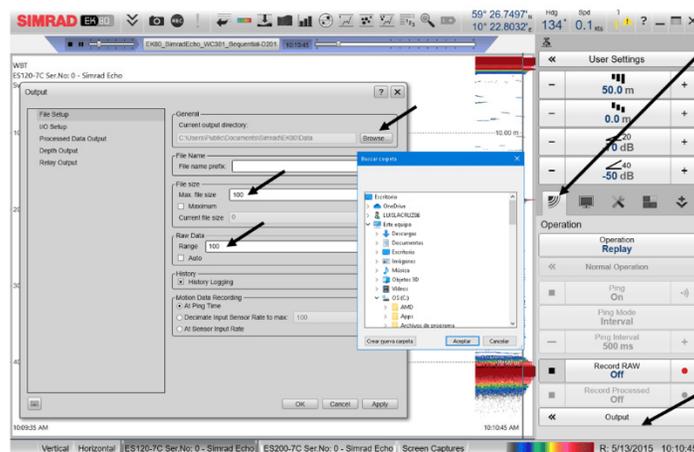
Paso 4: Configurar la salida de los datos .RAW

Configuración de la Grabación de los datos acústicos

Clic izquierdo en el menú operativa/configuración/salida (Output)

...En la pestaña directorio, clic en explorar para configurar la ruta de grabación de datos/Apply

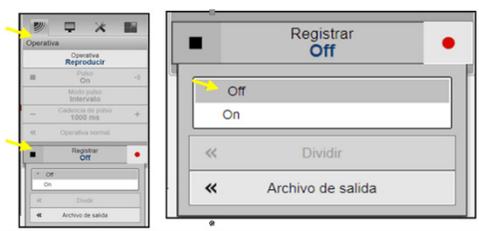
...En la pestaña File Size aplicar hasta 100 Mb y en el rango del Raw data hasta los 100 m/Apply



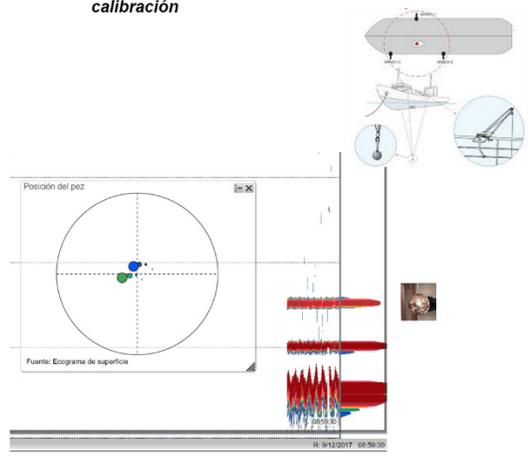
1. clic en la herramienta Operativa

Paso 5: Iniciar la grabación de los datos .RAW

1. Iniciar la grabación

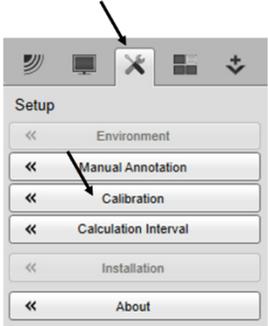


2. Maniobra de cañas y esfera para la calibración

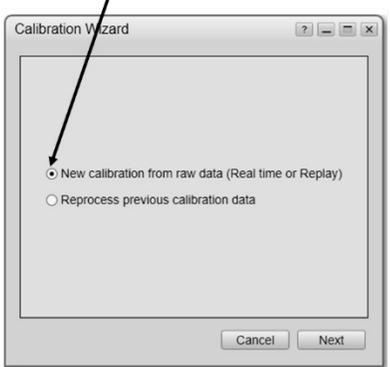


Paso 6: Inicio de la calibración

1. Clic en herramientas



3. Seleccionar el canal y el tipo de esfera-diametro



Paso 7: Configuración y colecta de datos

3. Iniciar toma de datos

1. Digitar el valor de TS Deviation en 5 dB

2. Digitar el rango de profundidad de la esfera

4. Obtener buenas coberturas de muestreo en el centro y en todo el haz de sonido (COLOR VERDE)

5. Next, para continuar

Reference Target	Value	Unit
Name:	Copper (Cu) 23mm	
TS Deviation:	4.0	dB
Min. Depth:	13.18	m
Max. Depth:	15.00	m

Single Target Detection	Value	Unit
Min. Threshold:	-50.00	dB
Min. Echo Length:	0.80	x Pulse Duration
Max. Echo Length:	1.80	x Pulse Duration
Max. CW Phase Deviation:	20.00	deg
Max. Gain Comp.(one-way):	3.00	dB
Min. Echo Spacing:	0.00	x Pulse Duration

Coverage	Value
Center Coverage:	96 %
Overall Coverage:	88 %

Paso 8: Análisis de los datos de TS

1. Podrá seleccionar valores no deseados y verificar los valores del RMS adecuados en la pestaña "Erro Analysis" y en "Results"

Suspended	Number	Time	Range	TS	Comp	TS	Uncomp	Along	Athwart	SA
<input checked="" type="checkbox"/>	3	11:30:58	13.49	-44.45	-46.51	0.61	-1.96	578.83		
<input checked="" type="checkbox"/>	703	11:55:35	14.01	-44.45	-50.16	-1.96	2.87	235.20		
<input type="checkbox"/>	672	11:54:06	14.03	-44.44	-46.45	-0.12	2.02	549.47		
<input type="checkbox"/>	671	11:54:05	14.04	-44.44	-46.42	0.49	1.96	549.33		
<input type="checkbox"/>	632	11:52:38	14.05	-44.44	-45.57	-1.16	0.98	673.23		
<input type="checkbox"/>	673	11:54:38	14.03	-44.43	-46.24	-1.10	1.59	572.26		
<input type="checkbox"/>	176	11:38:23	13.40	-44.43	-45.17	1.22	-0.12	811.55		
<input type="checkbox"/>	983	12:03:20	13.88	-44.43	-49.12	-3.06	-0.49	315.28		
<input type="checkbox"/>	635	11:52:41	14.01	-44.43	-48.41	-1.53	2.45	346.96		
<input type="checkbox"/>	601	11:51:55	14.02	-44.43	-46.21	-0.86	1.71	579.30		
<input type="checkbox"/>	161	11:37:38	13.40	-44.43	-45.35	0.98	-0.98	771.62		
<input type="checkbox"/>	4	11:31:04	13.51	-44.43	-46.01	0.55	-1.71	652.91		
<input type="checkbox"/>	14	11:33:18	13.38	-44.41	-44.78	-0.67	-0.55	878.91		
<input type="checkbox"/>	170	11:38:12	13.42	-44.41	-45.01	0.12	-1.10	832.73		
<input type="checkbox"/>	16	11:33:22	13.46	-44.41	-44.57	0.06	-0.55	951.05		
<input type="checkbox"/>	162	11:37:52	13.43	-44.41	-45.42	1.16	-0.86	749.01		
<input type="checkbox"/>	412	11:43:36	13.52	-44.41	-45.34	1.35	-0.31	794.97		
<input type="checkbox"/>	678	11:54:49	14.00	-44.41	-49.15	-1.53	2.75	291.61		
<input type="checkbox"/>	615	11:52:19	14.10	-44.40	-46.34	-0.92	1.77	585.63		
<input type="checkbox"/>	323	11:39:26	13.43	-44.40	-45.73	0.43	-1.50	700.74		

Paso 9: Resultados y error de análisis

The screenshot shows the 'Calibration Wizard' interface. On the left, there is a 3D visualization of a circular array of transducers and a graph of TS(θ) [dB] vs Frequency [kHz]. On the right, a table displays calibration results for various suspended numbers. A callout box titled 'Calibration Results' provides a summary of key parameters.

Suspended Number	Time	Range	TS Comp	TS Uncomp	Along	Athwart SA	
3	11:30:58	13.49	-44.45	-46.51	0.61	-1.96	578.83
703	11:55:35	14.01	-44.45	-50.16	-1.96	2.87	235.20
672	11:54:06	14.03	-44.44	-46.45	-0.12	2.02	549.47
671	11:54:05	14.04	-44.44	-46.42	0.49	1.96	549.33
632	11:52:38	14.05	-44.44	-45.57	-1.16	0.98	673.23
673	11:54:38	14.03	-44.43	-46.24	-1.10	1.59	572.26
176	11:38:23	13.40	-44.43	-45.17	1.22	-0.12	811.55
983	12:03:20	13.88	-44.43	-49.12	-3.06	-0.49	315.28
635	11:52:41	14.01	-44.43	-48.41	-1.53	2.45	346.96
601	11:51:55	14.02	-44.43	-46.21	-0.86	1.71	579.30
161	11:37:38	13.40	-44.43	-45.35	0.98	-0.98	771.62
4	11:31:04	13.51	-44.43	-46.01	0.55	-1.71	652.91
14	11:33:18	13.38	-44.41	-44.78	-0.67	-0.55	878.91
170	11:38:12	13.42	-44.41	-45.01	0.12	-1.10	832.73
16	11:33:22	13.46	-44.41	-44.57	0.06	-0.55	951.05
162	11:37:52	13.43	-44.41	-45.42	1.16	-0.86	749.01
412	11:43:36	13.52	-44.41	-45.34	1.35	-0.31	794.97
678	11:54:49	14.00	-44.41	-49.15	-1.53	2.75	291.61
615	11:52:19	14.10	-44.40	-46.34	-0.92	1.77	585.63
333	11:30:26	13.42	-44.40	-46.73	0.43	-1.59	702.74

Calibration Results

- Resulting Gain: 26.12 dB
- Gain Adjust: -0.88 dB
- Beamwidth Alongship: 6.53 deg
- Beamwidth Athwartship: 6.71 deg
- Offset Alongship: -0.05 deg
- Offset Athwartship: -0.04 deg
- SA Correction: -0.11 dB

Calibration Errors

RMS Error: 0.20 dB

Paso 10: Guardar la calibración

The screenshot shows the 'Calibration Wizard' interface, identical to the previous one, but with the 'Finish' button at the bottom right highlighted by a black arrow. The 'Finish' button is located at the bottom right of the main window, next to a 'Next' button.

1. Finalmente, clic en Finish para guardar la calibración