

Un mar de sonido: bioacústica marina y ruido antropogénico

Dr. Iván A. Hinojosa

*Profesor Asistente, Universidad Católica de la Sma. Concepción,
Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS)
Núcleo Milenio en Ecología y Manejo sustentable de Islas Oceánicas (ESMOI-UCN)*

&

Dra. Susannah J. Buchan

*Investigadora Asociada, COPAS Sur-Austral
Investigadora, Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas
Investigadora Invitada, Woods Hole Oceanographic Institution*



Facultad de Ciencias
Universidad Católica de la Santísima Concepción



Ecología del Paisaje Acústico (Soundscape Ecology)

Actividad Biológica

Diversidad de especies

Dinámica
Conducta

Historia natural

Biofonía

Actividad Humana

Transporte
Actividades
Construcción
Ejercicios militares

Antropofonía

Paisaje Acústico

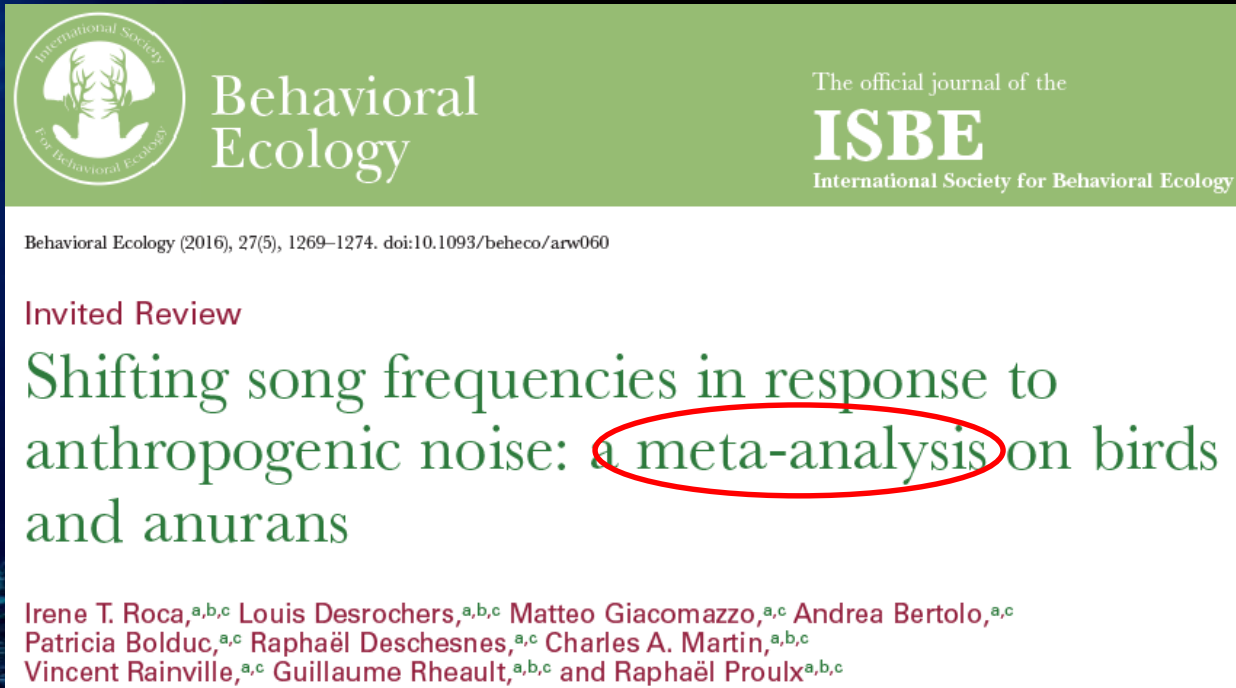
Diversidad de sonidos
Composición
Propiedades (nivel, frecuencia..)
variabilidad (tiempo/espacio)

Actividad Abiótica

Clima (tormentas)
Terremotos
hielo

Geofonía

Ecología del Paisaje Acústico

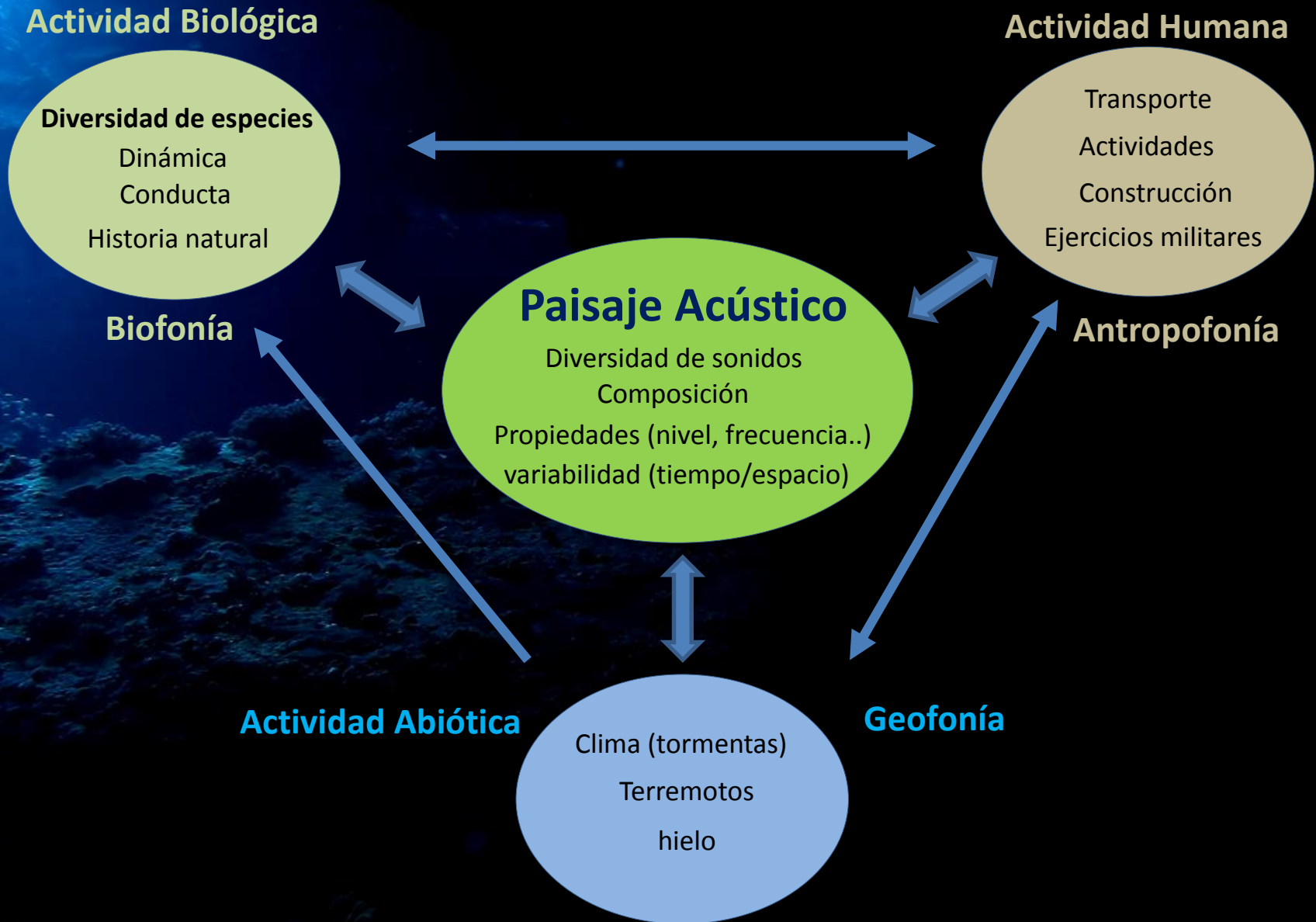


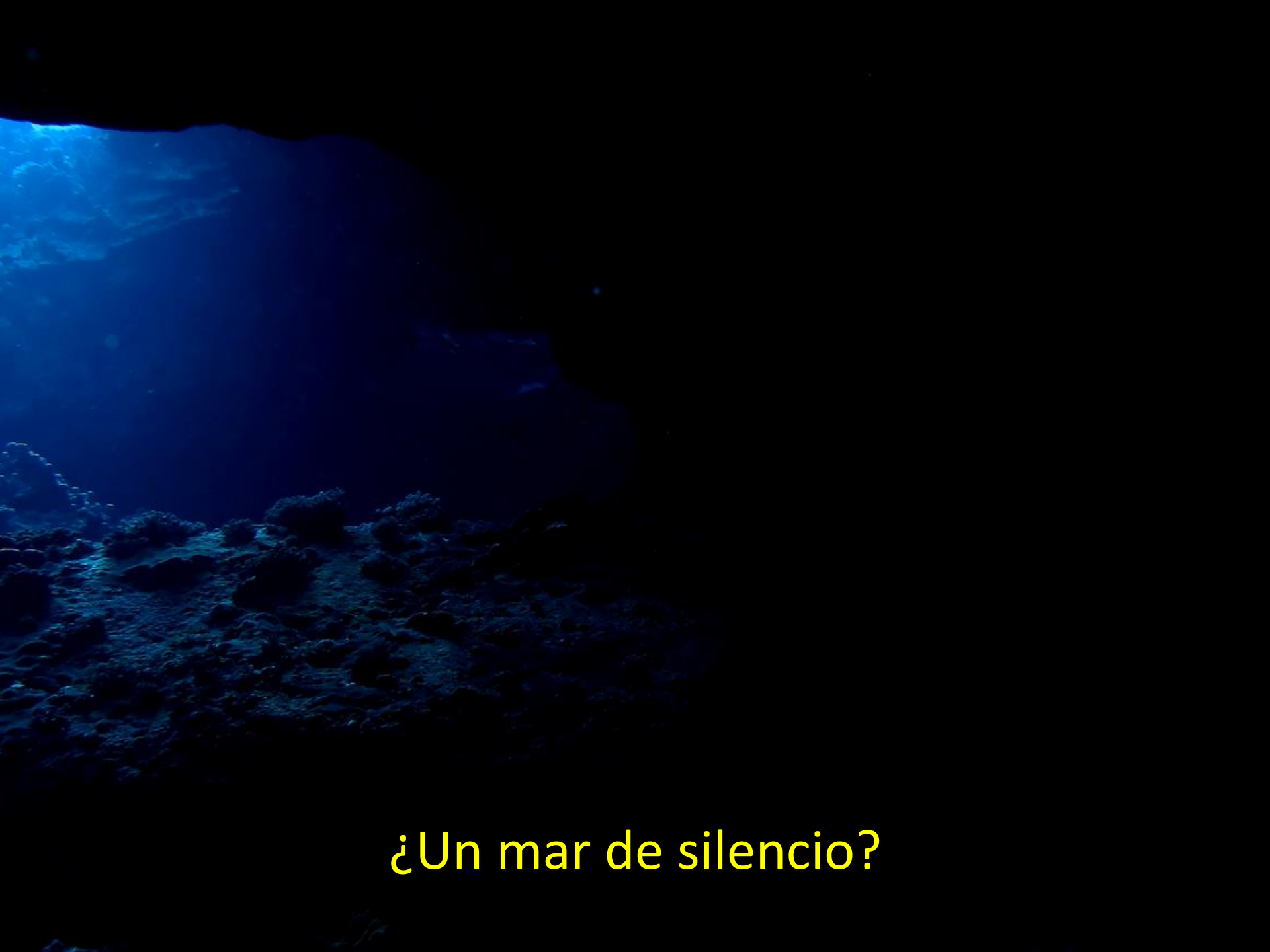
Mas de **160 experimentos** en **60 especies** de aves y anfibios.

Cambio de frecuencias e intensidad de sonido en especies de aves en presencia de sonidos antropofonos, pero en los anfibios no se observan cambios muy claros.

Sonidos antropofonos son una **nueva fuerza selectiva** que promueve **cambios en los patrones de comunicación** en varias especies

Ecología del Paisaje Acústico Submareal





¿Un mar de silencio?

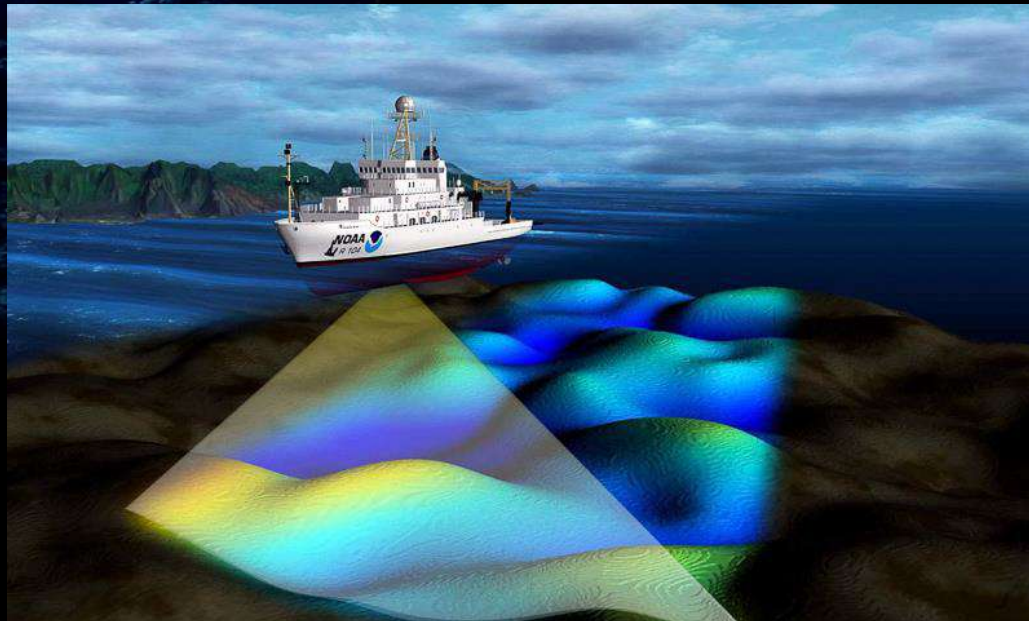
El océano es un medio acústico por excelencia

Velocidad sonido en aire: 343 m/s

Velocidad sonido en agua dulce: 1,484 m/s

Velocidad de sonido en agua de mar: 1,560 m/s (= 4.5 más rápido)

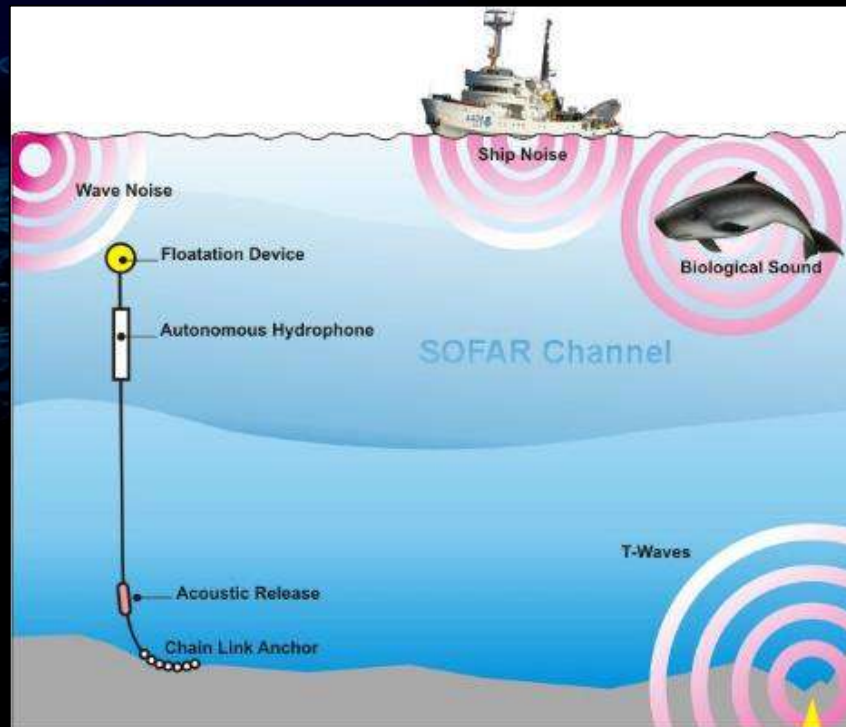
Hidroacústica



Bioacústica - Monitoreo Acústico Pasivo

Bioacústica marina (ecología de paisaje acústico): el estudio de sonidos bióticos, abióticos y antropogénicos en el océano y sus efectos sobre la vida marina.

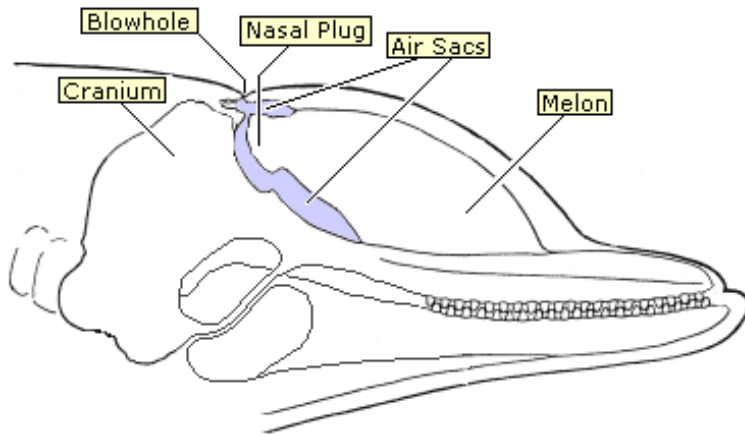
Monitoreo acústico pasivo: el monitoreo de señales acústicas **hidrófonos** (=micrófonos submarinos) sin emisión de sonido. Al contrario la hidroacústica (sonar, ecosondas, varios instrumentos oceanográficos) que emiten sonido.



Ecología del Paisaje Acústico Submareal



- 88 especies de cetáceos (ballenas y delfines) en el mundo
- Misticetos (con barbas) vs odontocetos (con dientes)
- 1.4 m y **54 kg** (Vaquita) a 33 m y **190,000 kg** (Ballena azul)
- En Chile se observa alrededor de 44 especies!
- Amenazas: caza, pesca accidental, **colisiones con barcos**, **ruido**, cambio climático

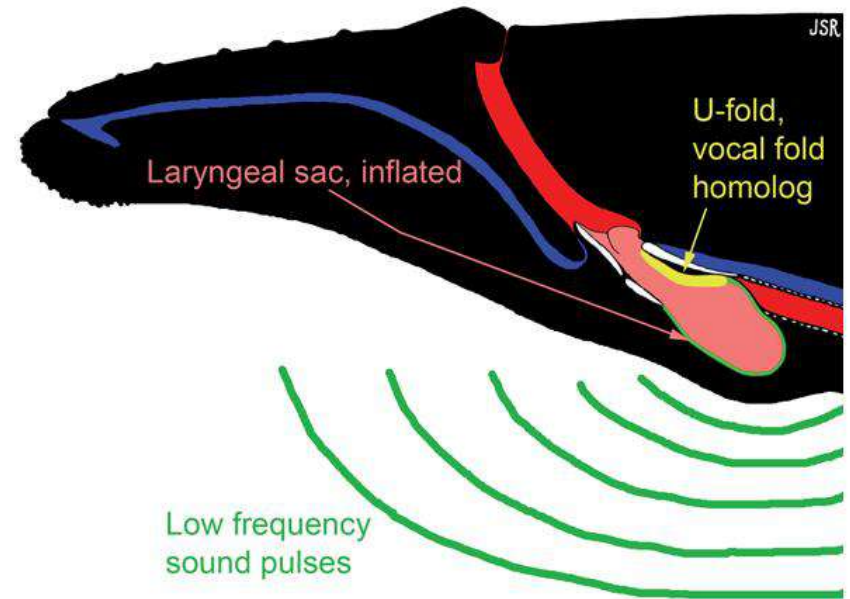


Dolphins produce sounds by passing air through air sacs in their head. Adapted from Dolphin Acoustical Structure (1991) Scheifele, P.M. NUSC TR3080.

- **Misticetos** (ballenas)
- Vocalizaciones sociales – pulsado o tonal



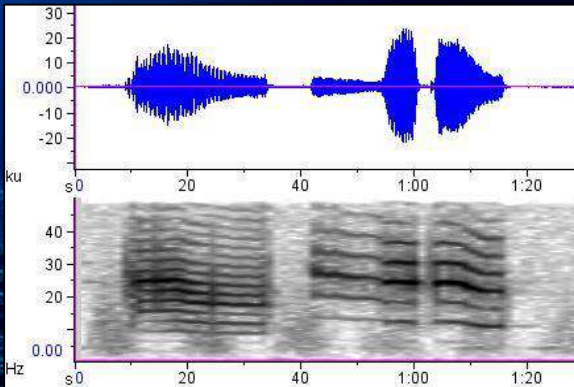
- **Odontocetos** (delfines, orca, cachalote)
- Ecolocalización - clicks - caza, navegación
- Vocalizaciones sociales - silbidos, sonidos pulsados – interacciones sociales



Schematic diagram displaying a potential mechanism for sound production in baleen whales. Baleen whales contract muscles in the throat and chest, causing air to flow between the lungs and the laryngeal sac (pink tissue in the diagram). Alternating expansion and contraction of the lungs and sac drives air across a u-shaped ridge of tissue, the u-fold (yellow), causing it to vibrate and produce sound. Vibrations from the laryngeal sac (green lines) may propagate through the ventral throat pleats into the surrounding water as sound waves. Note: the respiratory tract of the whale is shown red, digestive tract in blue, and associate cartilage in white. Image credit: Dr. Joy Reidenberg. Adapted from Joy S. Reidenberg and Jeffrey T. Laitman. 2007. Discovery of a low frequency sound source in Mysticeti (baleen whales): Anatomical establishment of a vocal fold homolog. The Anatomical Record. Volume 290, Issue 6, pages 745-759.

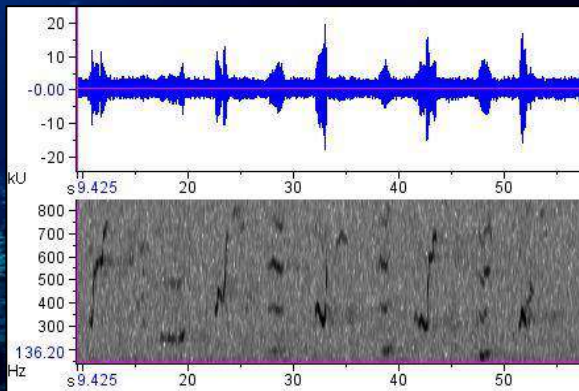
Ecología del Paisaje Acústico Submareal

Ballena azul chilena del Golfo Corcovado



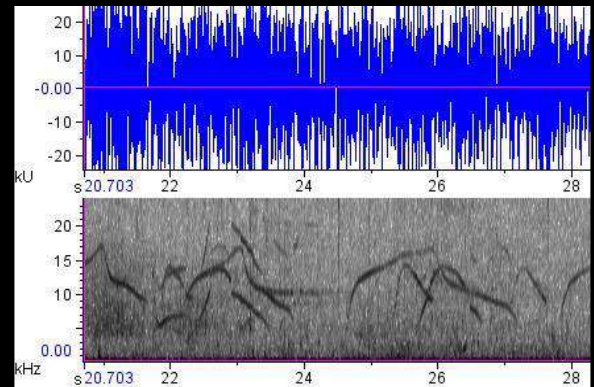
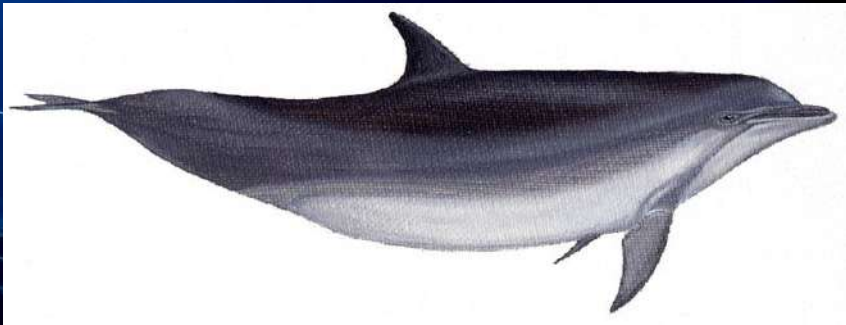
Ecología del Paisaje Acústico Submareal

Ballena jorobada del Golfo Corcovado



Ecología del Paisaje Acústico Submareal

Delfín nariz de botella del Golfo Corcovado



Ecología del Paisaje Acústico Submareal



Vol. 401: 21–29, 2010
doi: 10.3354/meps08451

MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES
Mar Ecol Prog Ser

Published February 22

Localised coastal habitats have distinct underwater sound signatures

C. A. Radford^{1,*}, J. A. Stanley¹, C. T. Tindle², J. C. Montgomery¹, A. G. Jeffs¹

Ecología del Paisaje Acústico Submareal



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Experimental Marine Biology and Ecology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jembe

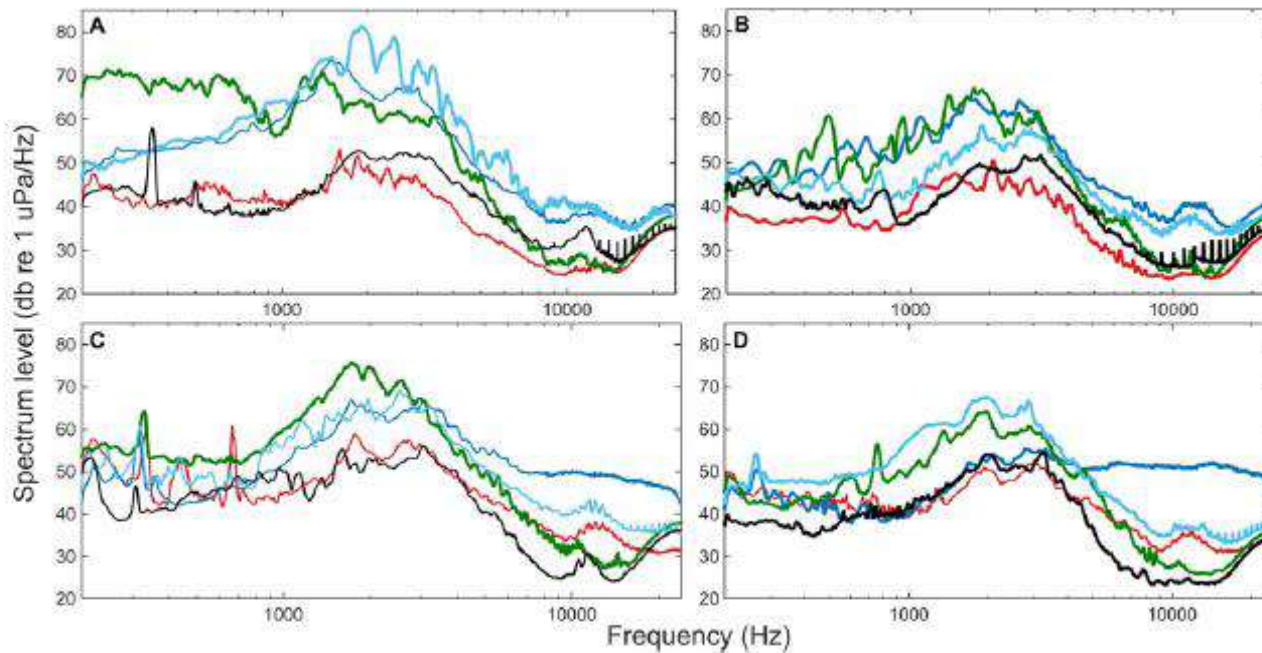


Fig. 2. Composite soundscapes for each habitat type (colored lines: affected hard-bottom — red; unaffected hard-bottom — dark blue; restored hard-bottom — light blue; mangrove — green; seagrass — black) during each moon phase and time-of-day. Full moon dusk (A), full moon noon (B), new moon dusk (C), and new moon noon (D).

Ecología del Paisaje Acústico Submareal



Ecología del Paisaje Acústico Submareal



Vol. 401: 21–29, 2010
doi: 10.3354/meps08451

MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES
Mar Ecol Prog Ser

Published February 22

Localised coastal habitats have distinct underwater sound signatures

C. A. Radford^{1,*}, J. A. Stanley¹, C. T. Tindle², J. C. Montgomery¹, A. G. Jeffs¹

Ciclos de vida con estados larvales

Puerulus

1 month
STRONG horizontal
swimming capacity



Currents and Eddies

Push several kilometres offshore

Phyllosoma

18-24 months
NO horizontal
swimming capacity



Adults

7-10 years to be sexually mature
lives 20-30 years



Eggs

3-6 Months
attached to female



30-600 Thousand

Ecología del Paisaje Acústico Submareal



Vol. 207: 219–224, 2000

MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES
Mar Ecol Prog Ser

Published November 22

NOTE

Ambient sound as a cue for navigation by the pelagic larvae of reef fishes

Nick Tolimieri^{1,2,*}, Andrew Jeffs³, John C. Montgomery¹

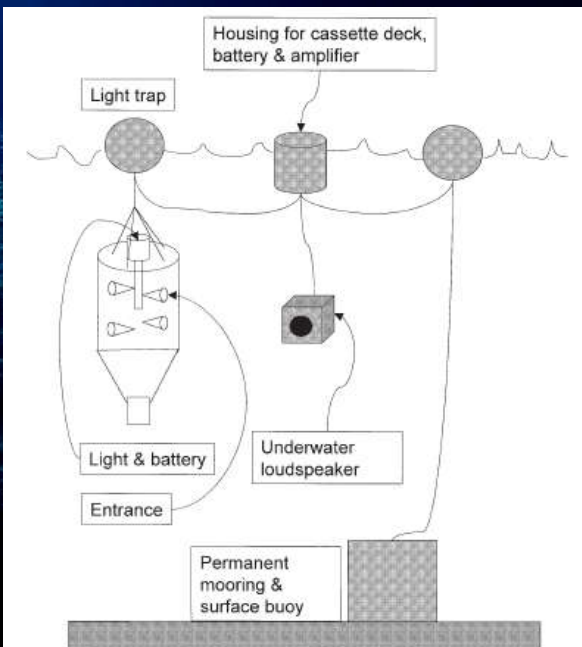


Fig. 1. Experimental apparatus showing configuration of the light trap and underwater sound playback equipment. The 'silent' control traps included a 'dummy' surface barrel but no loudspeaker. Drawing not to scale

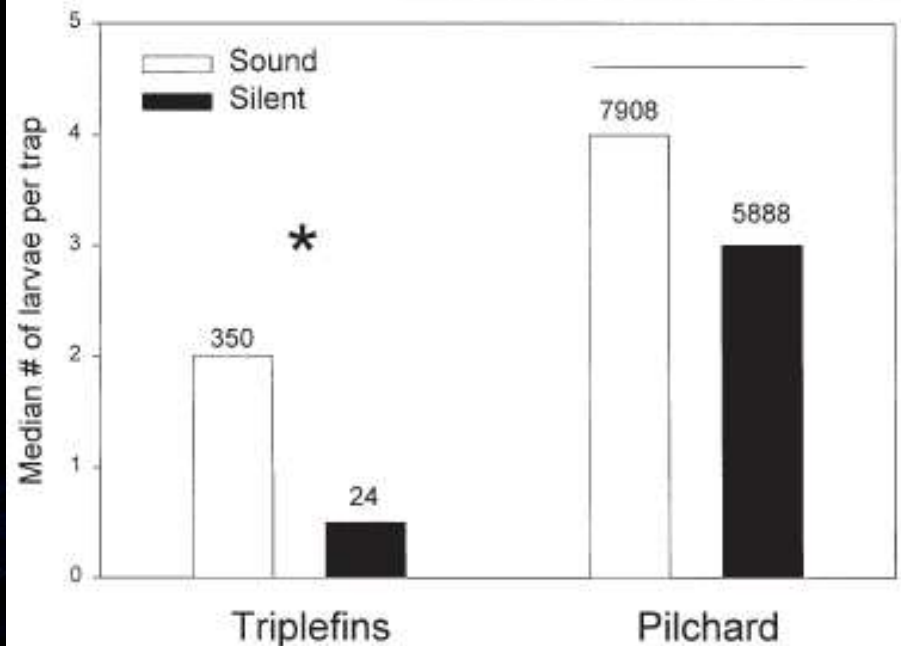


Fig. 4. Median number of fish larvae caught per trap per night for sound and silent treatments over 14 nights ($n = 27$). Numbers over bars = range (and maximum, as minimum number was 0 for all treatments); * $p < 0.05$; horizontal line indicates treatments that could not be distinguished statistically (Wilcoxon signed-ranks test)

Ecología del Paisaje Acústico Submareal



OPEN ACCESS Freely available online

PLOS ONE

Oyster Larvae Settle in Response to Habitat-Associated Underwater Sounds

Ashlee Lillis*, David B. Eggleston, DelWayne R. Bohnenstiehl

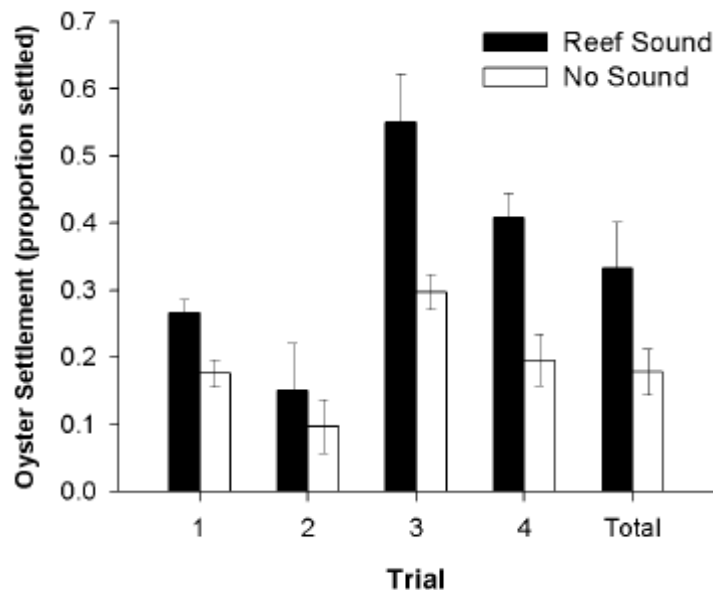


Figure 7. Mean oyster settlement in reef sound and no sound treatments for laboratory experiment 1 trials. Settlement was measured as proportion of larvae settled in a culture at the termination of a trial. Error bars represent 1 S.E. N=28. doi:10.1371/journal.pone.0079337.g007

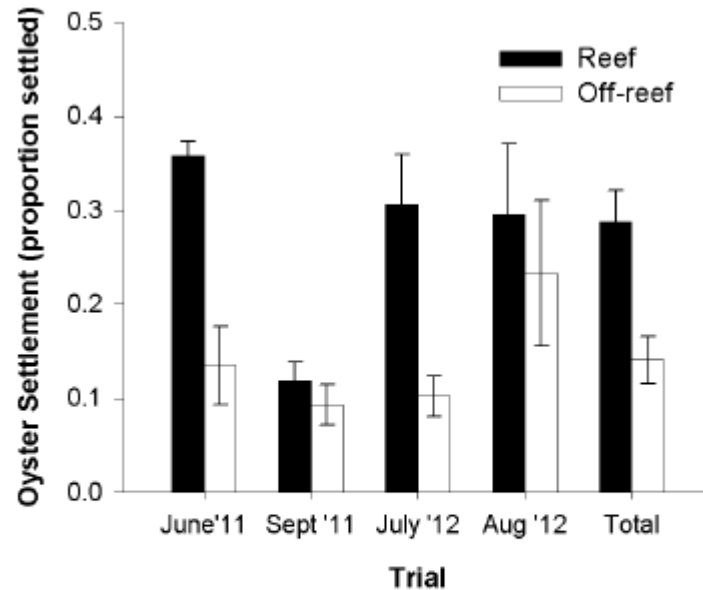
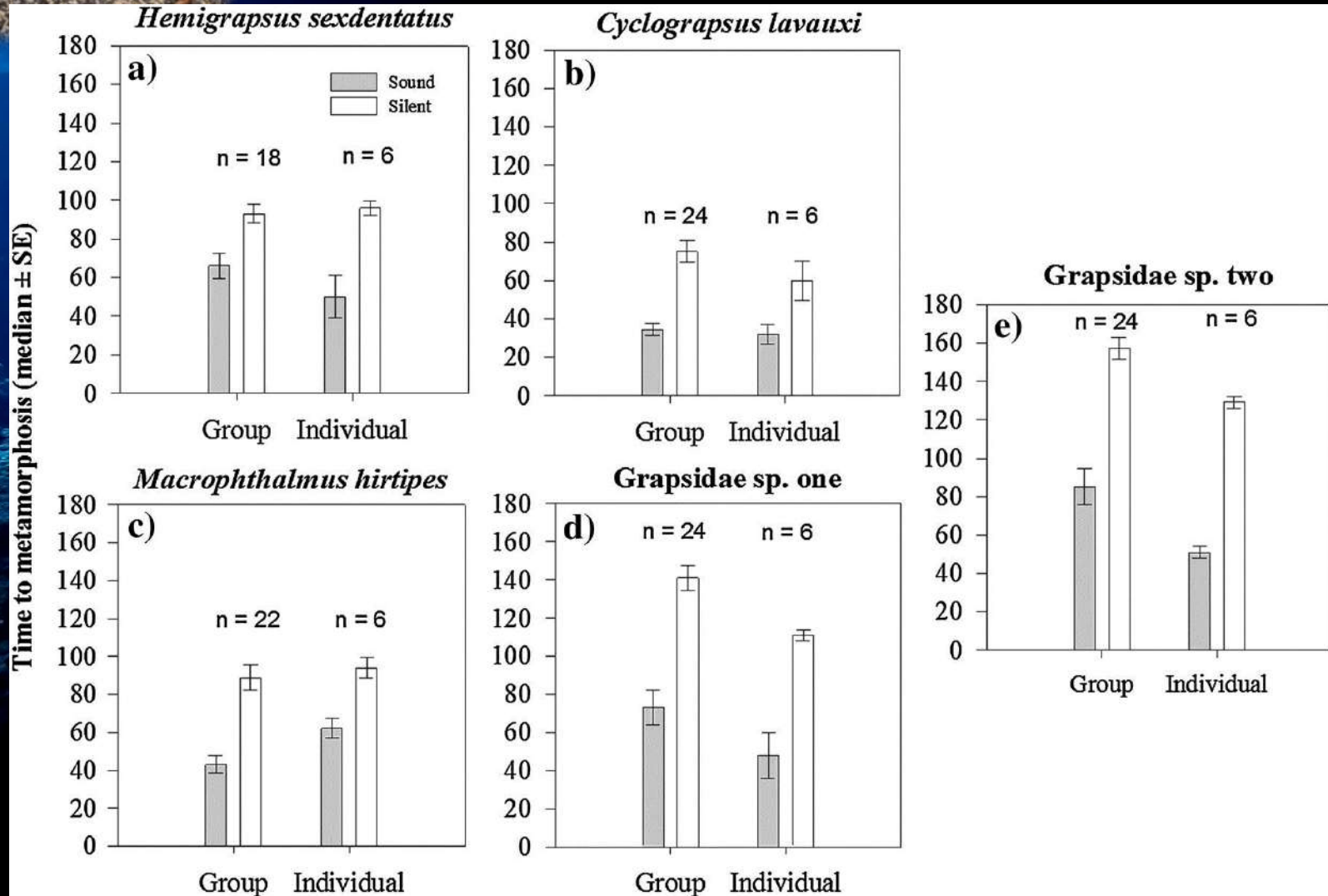
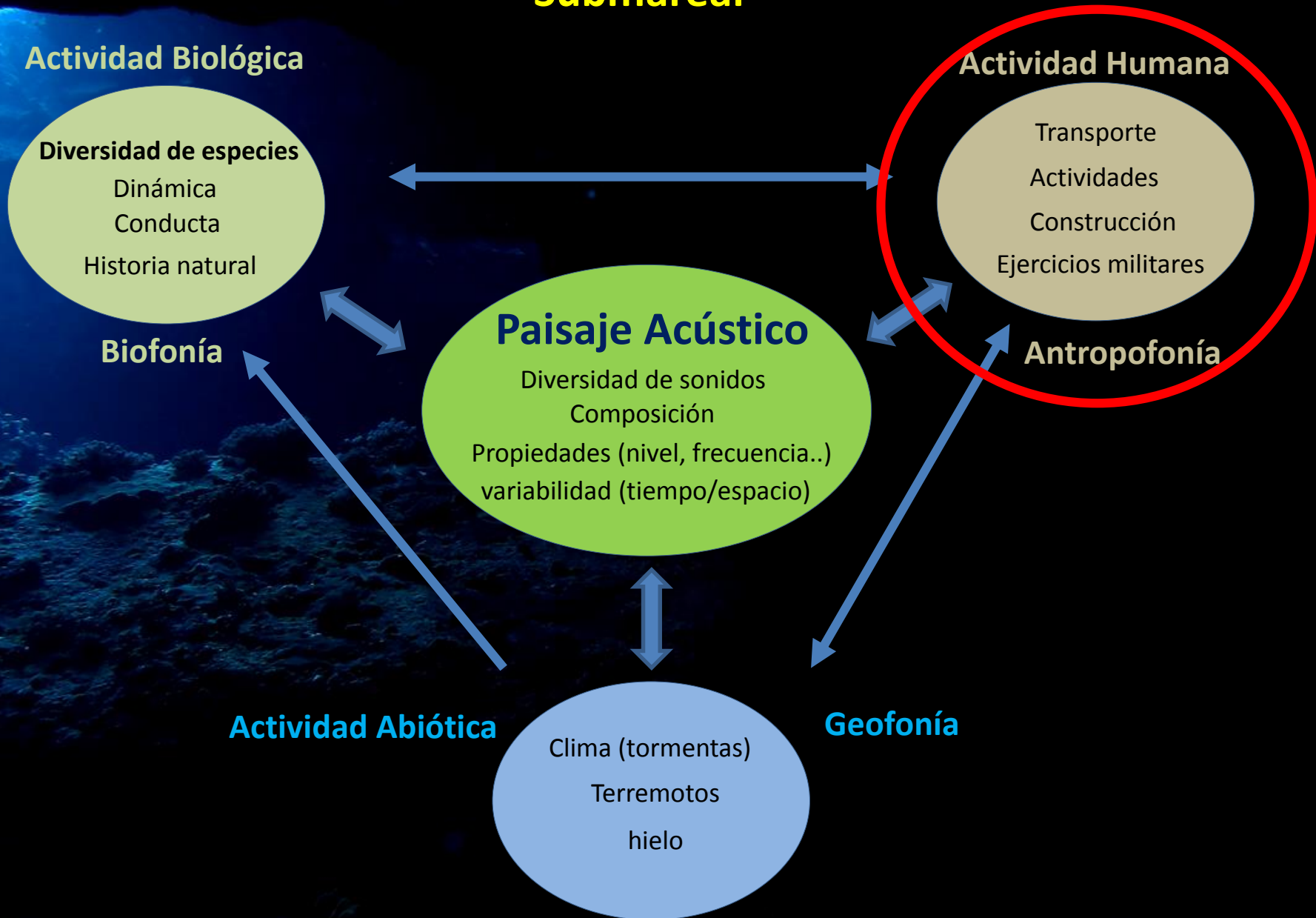


Figure 10. Mean oyster settlement for field-based settlement experimental trials. Settlement was measured as proportion of larvae settled in a culture at the termination of a trial. Error bars represent 1 S.E. N=32. doi:10.1371/journal.pone.0079337.g010

Ecología del Paisaje Acústico Submареal



Ecología del Paisaje Acústico Submareal



Ecología del Paisaje Acústico Submareal



Efectos del ruido antropogénico sobre mamíferos marinos

- **Efectos agudos:** ej. impactos acústicos de sonar navales que producen **lesiones** acústicas
- **Efectos crónicos:** ruido de construcción portuaria o tráfico marítimo que produce **enmascaramiento de vocalizaciones**, reduciendo el espacio de comunicación.
- En mamíferos marinos demostrar efectos a **nivel de población es difícil**, debido a los largos ciclos de vida y porque en la gran mayoría de los casos, no éticamente ni logísticamente posible realizar experimentos en laboratorio.

Evidence that ship noise increases stress in right whales

Rosalind M. Rolland^{1,*}, Susan E. Parks^{2,†}, Kathleen E. Hunt¹,
Manuel Castellote³, Peter J. Corkeron^{4,‡}, Douglas P. Nowacek⁵,
Samuel K. Wasser⁶ and Scott D. Kraus¹

¹Research Department, New England Aquarium, Boston, MA 02110, USA

- Lesiones y varamientos
- Impactos acústicos agudos de sonar

- Aumento en niveles de **estrés** en presencia de tráfico marítimo
- Impacto crónico: Podría explicar graves **problemas reproductivos** de la Ballena franca del Atlántico Norte

Vet Pathol 42:446–457 (2005)

“Gas and Fat Embolic Syndrome” Involving a Mass Stranding of Beaked Whales (Family *Ziphiidae*) Exposed to Anthropogenic Sonar Signals

A. FERNÁNDEZ, J. F. EDWARDS, F. RODRÍGUEZ, A. ESPINOSA DE LOS MONTEROS, P. HERRÁEZ,
P. CASTRO, J. R. JABER, V. MARTÍN, AND M. ARBELLO

Unit of Histology and Pathology (AF, FR, PH, AEM, PC, JRJ, MA), Institute for Animal Health (IUSA), Veterinary School, University of Las Palmas de Gran Canaria, Spain; Department of Veterinary Pathobiology (JFE), College of Veterinary Medicine, Texas A&M University, College Station, TX; and Sociedad Estudio Cetáceos en Canarias (VM), Canary Islands, Spain

brief communications

Gas-bubble lesions in stranded cetaceans

Was sonar responsible for a spate of whale deaths after an Atlantic military exercise?

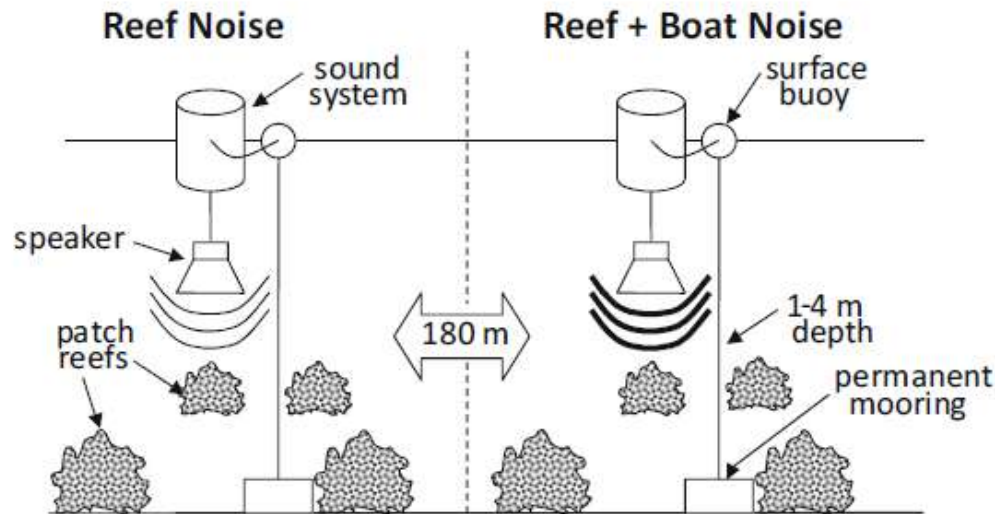
There are spatial and temporal links between some mass strandings of cetaceans — predominantly beaked whales — and the deployment of military sonar¹. Here we present evidence of acute and chronic tissue damage in stranded cetaceans that results from the formation *in vivo* of gas bubbles, challenging the view that these mammals do not suffer decompression sickness. The incidence of such

The livers of these animals were the most consistently affected organ, with macroscopic gas-filled cavities (diameter, 0.2–6.0 cm) occupying 5–90% of the volume (Fig. 1) and having variable degrees of fibrotic encapsulation. Intrahepatic spherical non-staining cavities (gas bubbles) of diameter 50–750 µm were associated with compression of hepatic tissue, distension of portal blood vessels, and sometimes with haemorrhage.

experimental animals as a result of expansion of pre-existing gas nuclei within nitrogen-supersaturated tissues². Anatomical, physiological and behavioural adaptations may mitigate against *in vivo* formation of nitrogen bubbles in marine mammals^{3,4}, although there is empirical evidence of nitrogen supersaturation in cetaceans⁵. Some deep-diving species are predicted to undergo up to 300% nitrogen tissue supersaturation. While difficult to interpret,

Ecología del Paisaje Acústico Submareal

A



Chapter 129 Small-Boat Noise Impacts Natural Settlement Behavior of Coral Reef Fish Larvae

Stephen D. Simpson, Andrew N. Radford, Sophie Holles, Maud C.O. Ferarri,
Douglas P. Chivers, Mark I. McCormick, and Mark G. Meekan



© Andy Green



WWW.REEFLIFESURVEY.COM

Ecología del Paisaje Acústico Submareal

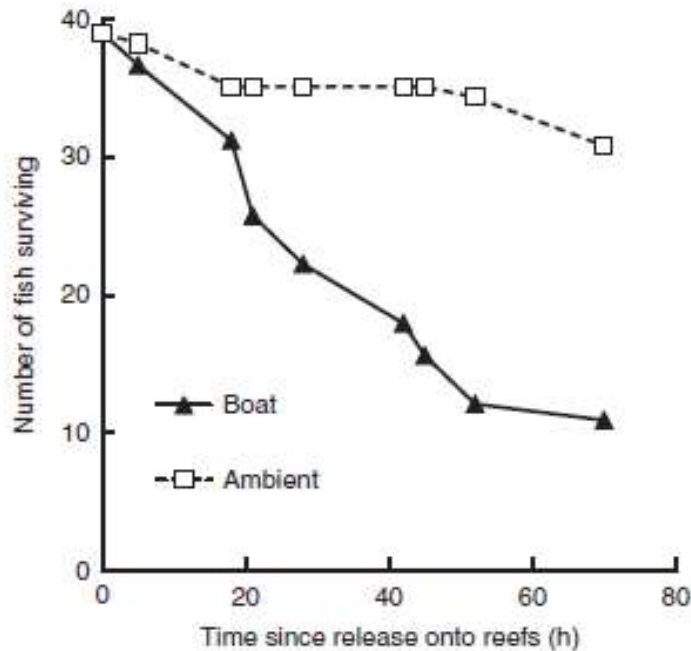
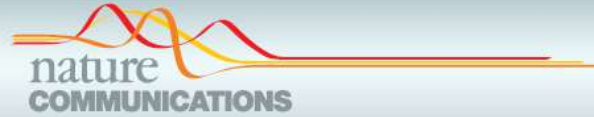


Figure 1 | Survival of *P. amboinensis* on reefs with and without playback of boat noise. Field-based survival of *P. amboinensis* during 72 h following release onto experimental patch reefs with playback of ambient or boat-noise recordings using underwater speakers.



ARTICLE

Received 23 Jul 2015 | Accepted 23 Dec 2015 | Published 5 Feb 2016

DOI: [10.1038/ncomms10544](https://doi.org/10.1038/ncomms10544)

OPEN

Anthropogenic noise increases fish mortality by predation

Stephen D. Simpson¹, Andrew N. Radford², Sophie L. Nedelec², Maud C.O. Ferrari³, Douglas P. Chivers⁴, Mark I. McCormick⁵ & Mark G. Meekan⁶



Ecología del Paisaje Acústico Submareal



biology
letters

rsbl.royalsocietypublishing.org

Global change biology

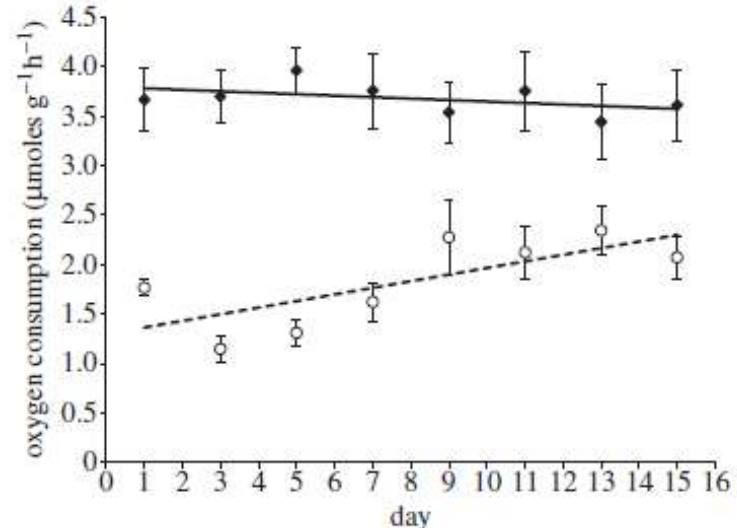
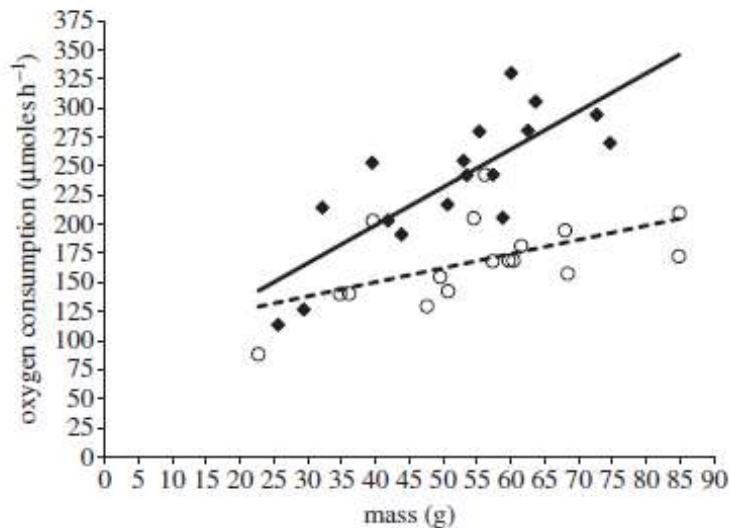
Size-dependent physiological responses of shore crabs to single and repeated playback of ship noise

Matthew A. Wale¹, Stephen D. Simpson² and Andrew N. Radford¹

¹School of Biological Sciences, University of Bristol, Woodland Road, Bristol BS8 1UG, UK

²Biosciences. College of Life and Environmental Sciences, University of Exeter, Exeter EX4 4QD, UK

Research



Ecología del Paisaje Acústico Submareal

ICES Journal of Marine Science



ICES
CIEM

International Council for
the Exploration of the Sea
Conseil International pour
l'Exploration de la Mer

ICES Journal of Marine Science (2017), 74(3), 635–651. doi:10.1093/icesjms/fsw205

Quo Vadimus

A sound approach to assessing the impact of underwater noise on marine fishes and invertebrates

Anthony D. Hawkins^{1,*} and Arthur N. Popper²

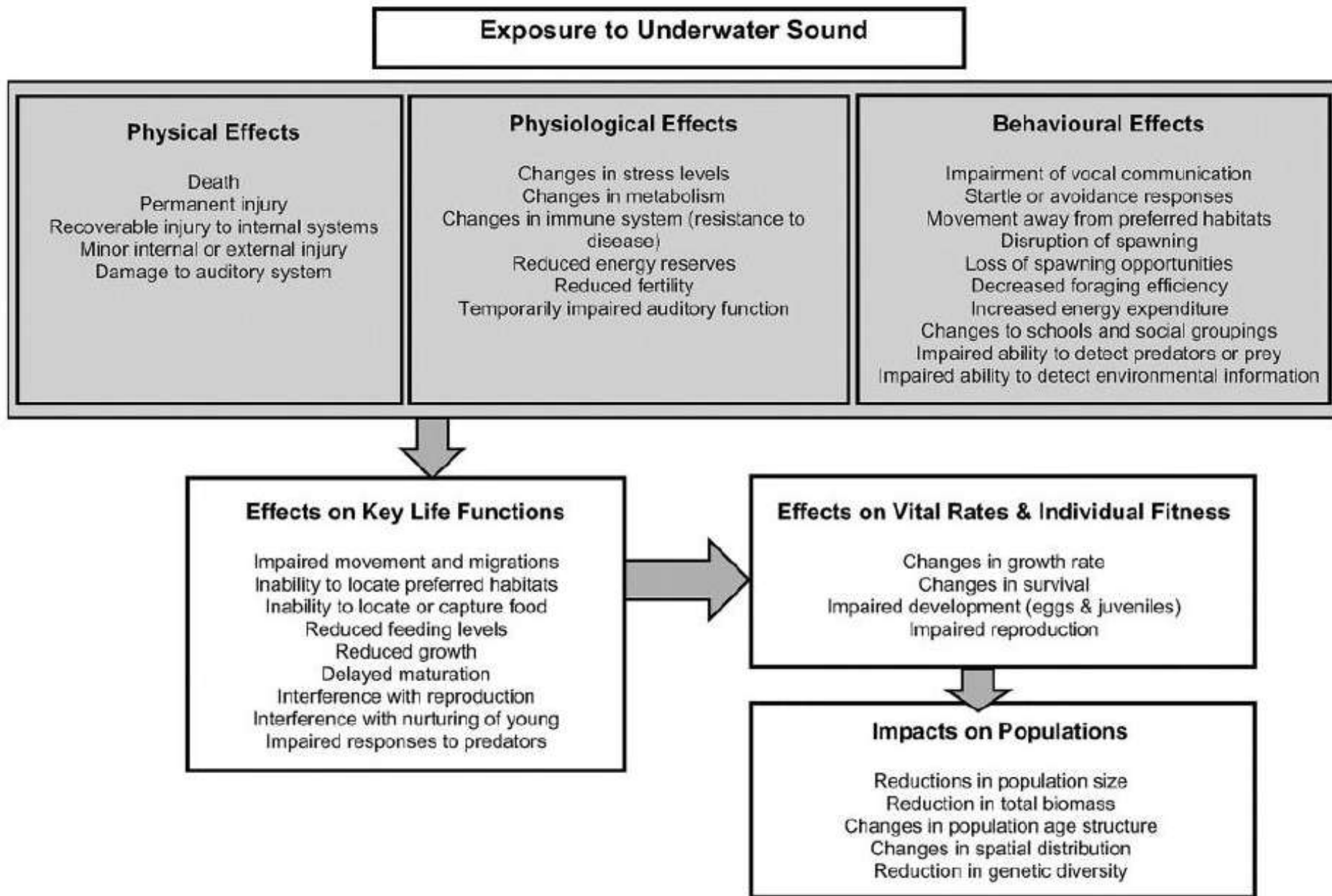
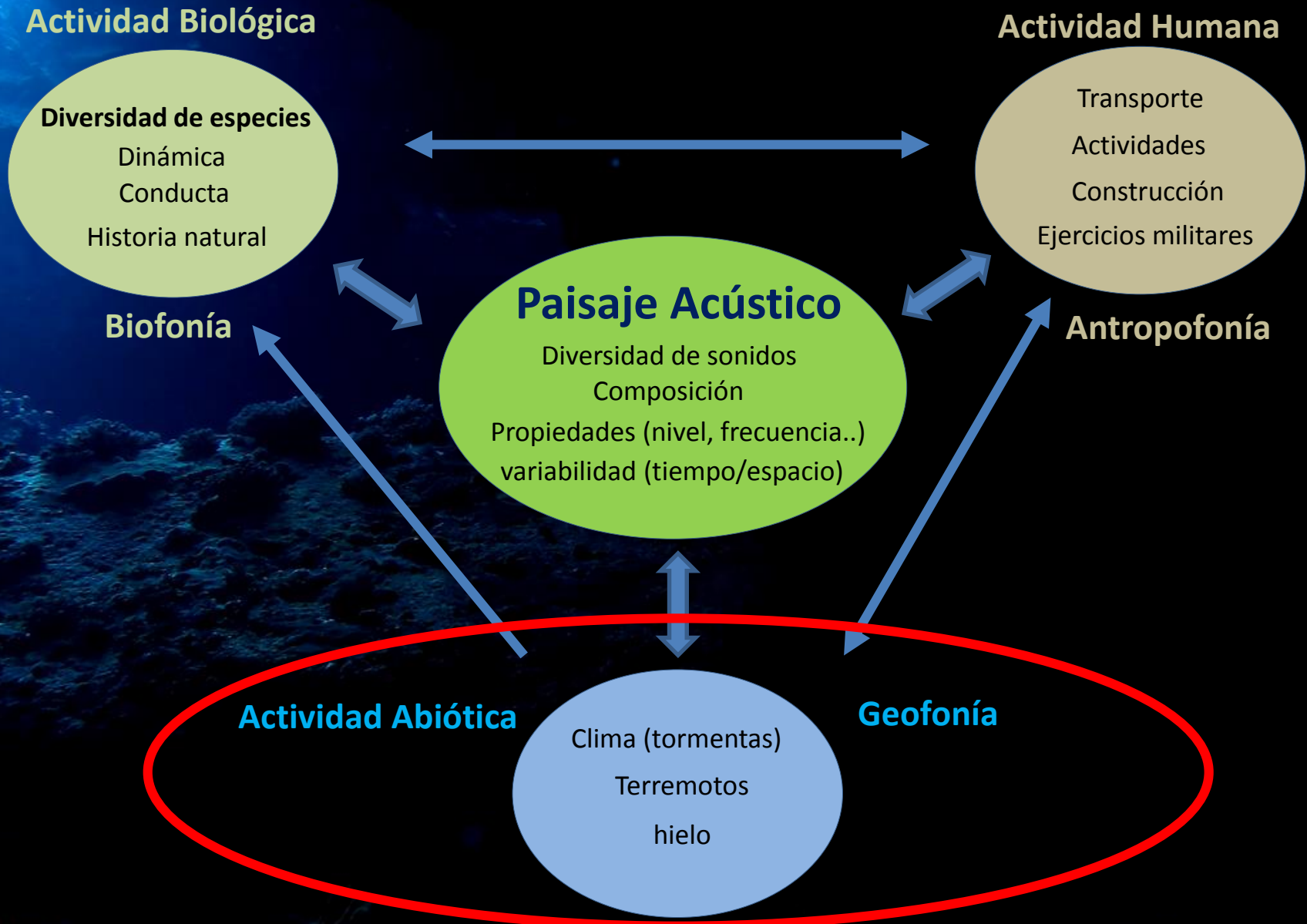


Figure 2. Effects of exposure to underwater sound on fishes (and possibly invertebrates) with respect to impact on key life functions, vital rates, and population parameters

Ecología del Paisaje Acústico Submareal

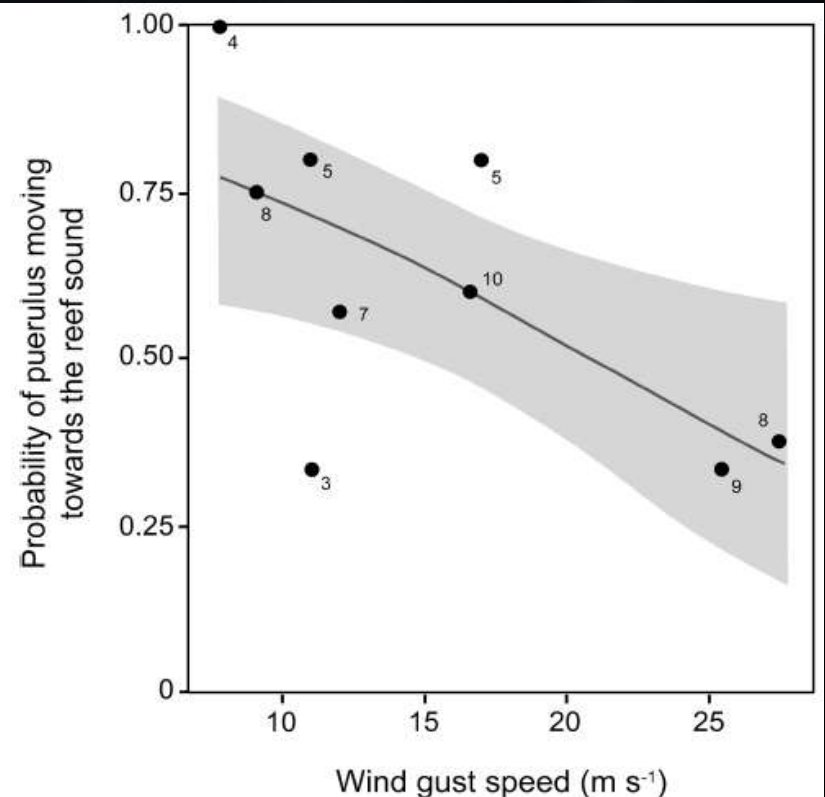
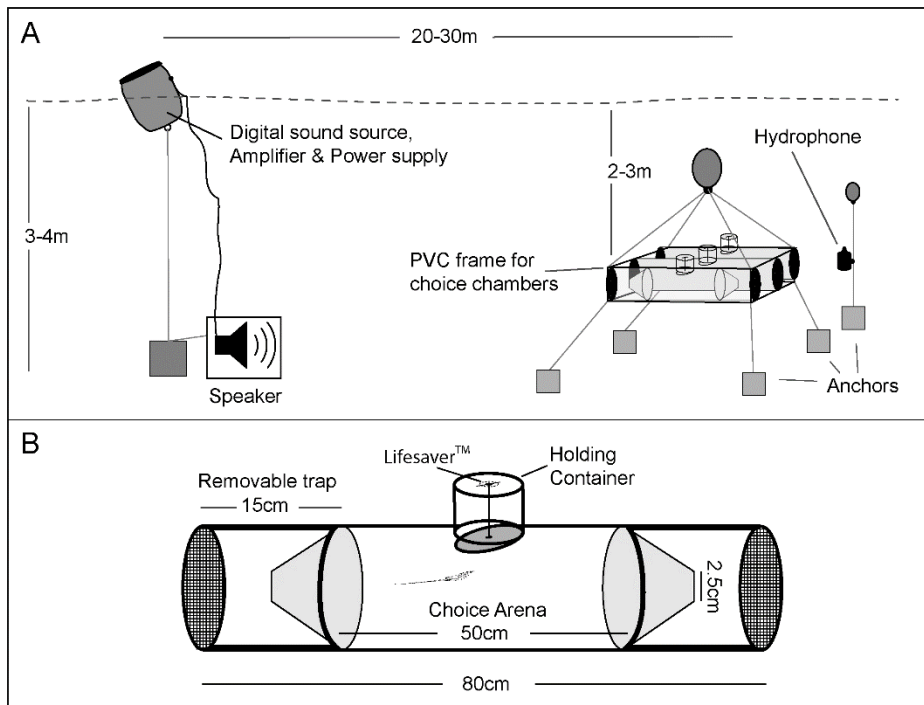


Ecología del Paisaje Acústico Submareal

RESEARCH ARTICLE

Reef Sound as an Orientation Cue for Shoreward Migration by Pueruli of the Rock Lobster, *Jasus edwardsii*

Ivan A. Hinojosa^{1,2,3*}, Bridget S. Green¹, Caleb Gardner¹, Jan Hesse⁴, Jenni A. Stanley⁴, Andrew G. Jeffs⁴



Ecología del Paisaje Acústico Submareal

Actividad Biológica

Diversidad de especies

Dinámica
Conducta

Historia natural

Biofonía

Actividad Humana

Transporte
Actividades
Construcción
Ejercicios militares

Antropofonía

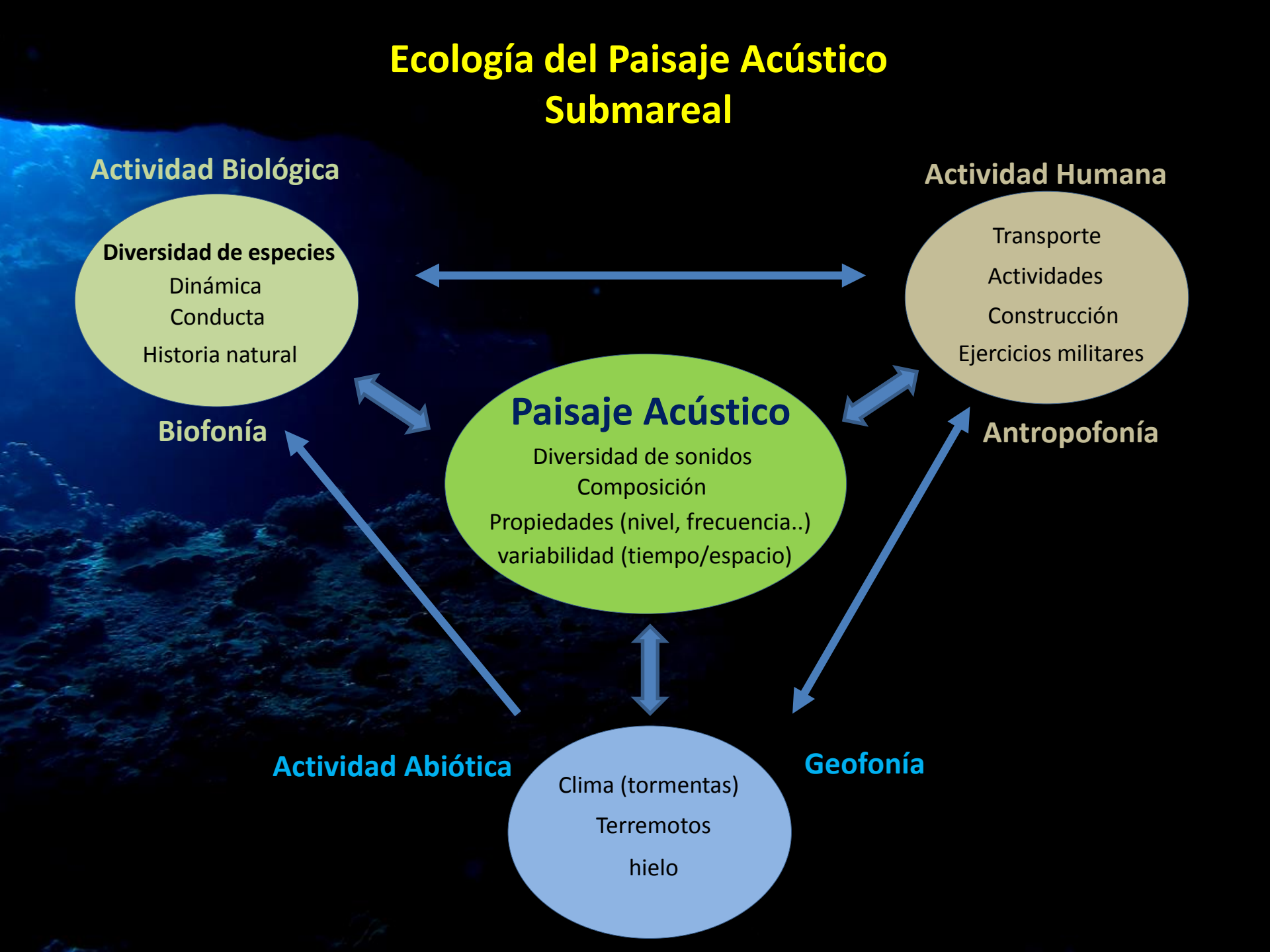
Paisaje Acústico

Diversidad de sonidos
Composición
Propiedades (nivel, frecuencia..)
variabilidad (tiempo/espacio)

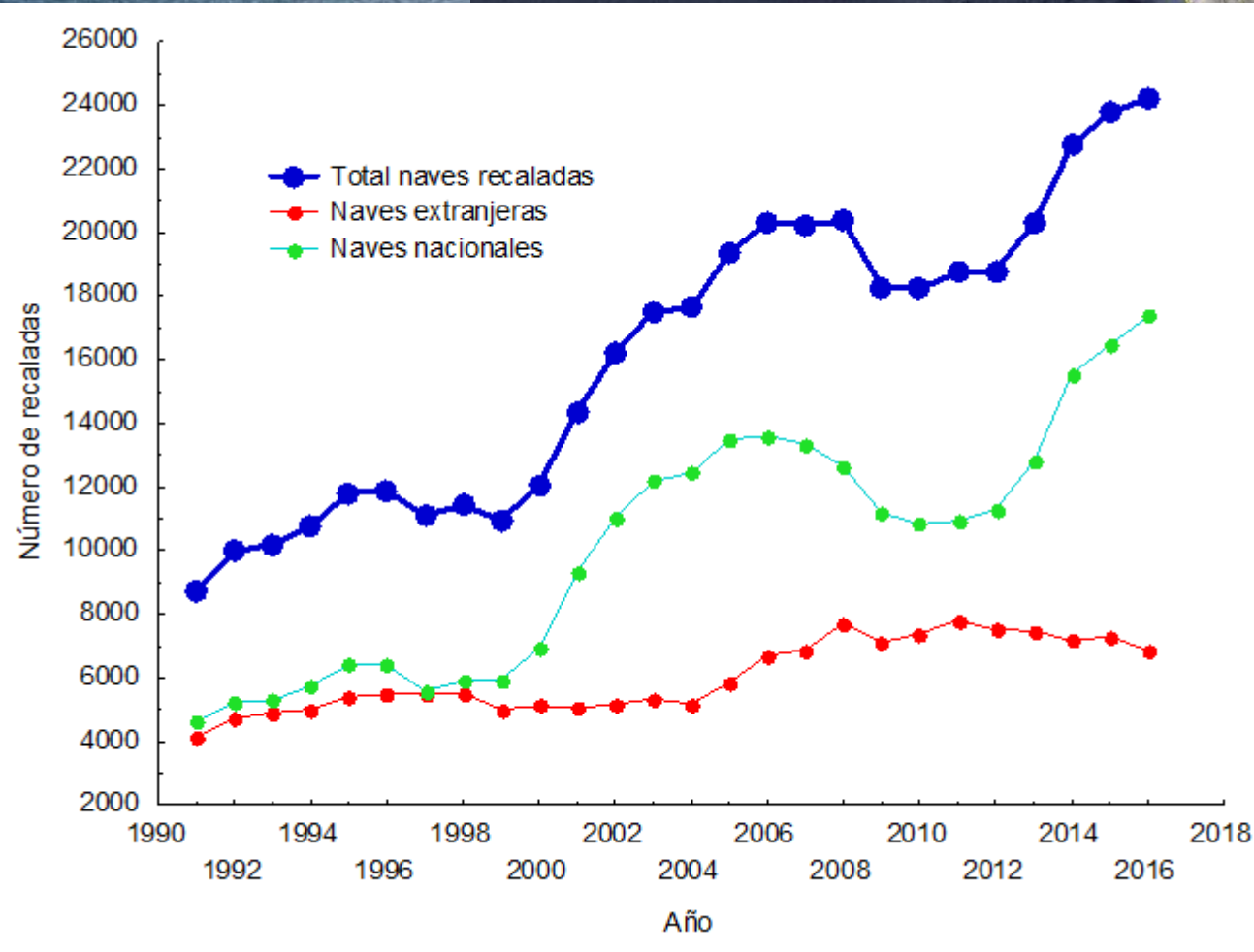
Actividad Abiótica

Clima (tormentas)
Terremotos
hielo

Geofonía



Ecología del Paisaje Acústico Submareal en Chile



Google Earth

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Image Landsat / Copernicus
© 2016 Google
US Dept of State Geographer

Monitoreo Acústico Pasivo



Monitoreo Acústico Pasivo

- Equipos anclados – desafío de ingeniería y muy costoso
- Registros “ciegos” – no siempre con observaciones de comportamiento o de presencia animal
- Con y sin transmisión en tiempo real.

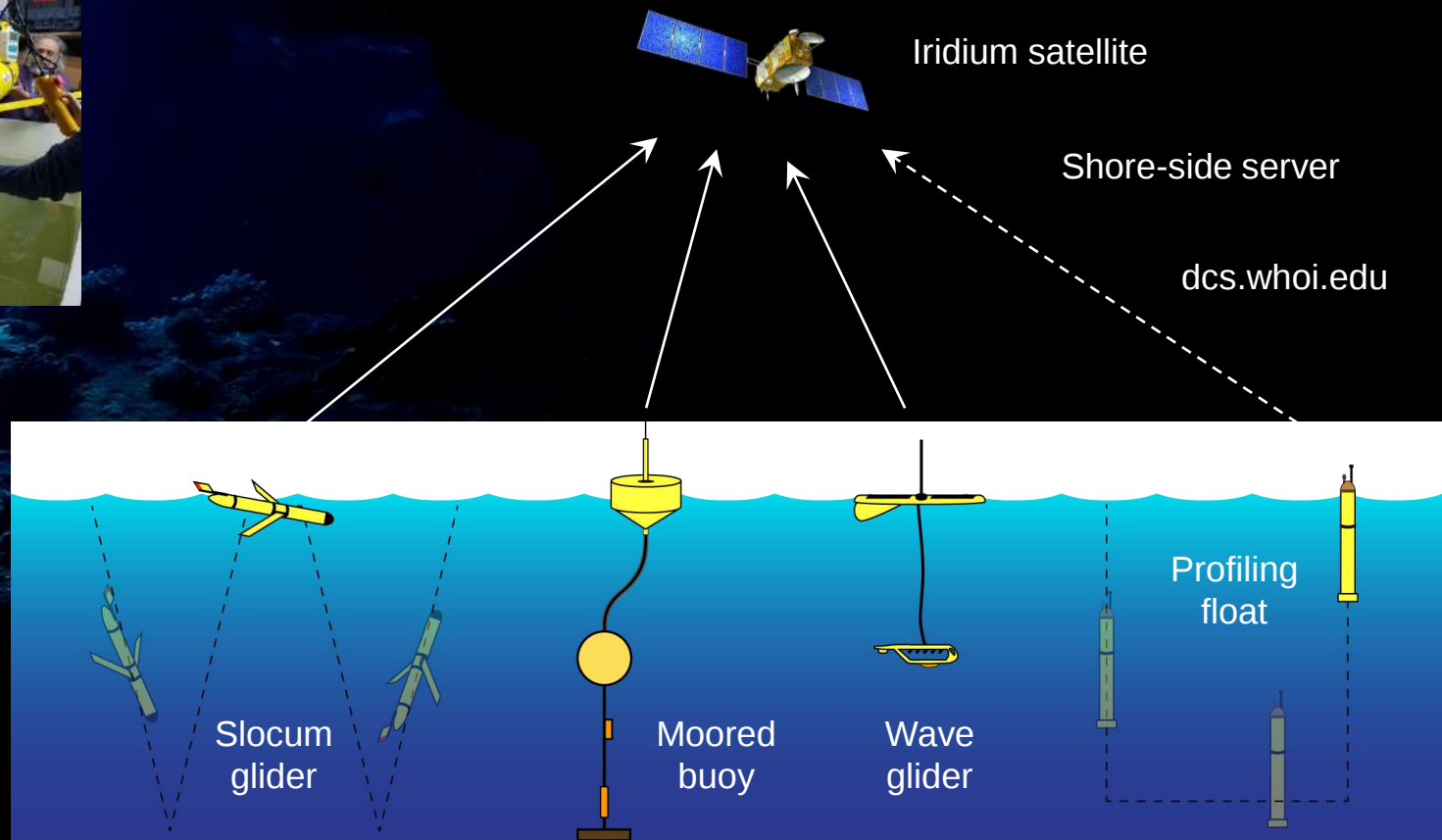


Monitoreo Acústico Pasivo en Tiempo Real

- Enorme potencial para la toma de decisiones

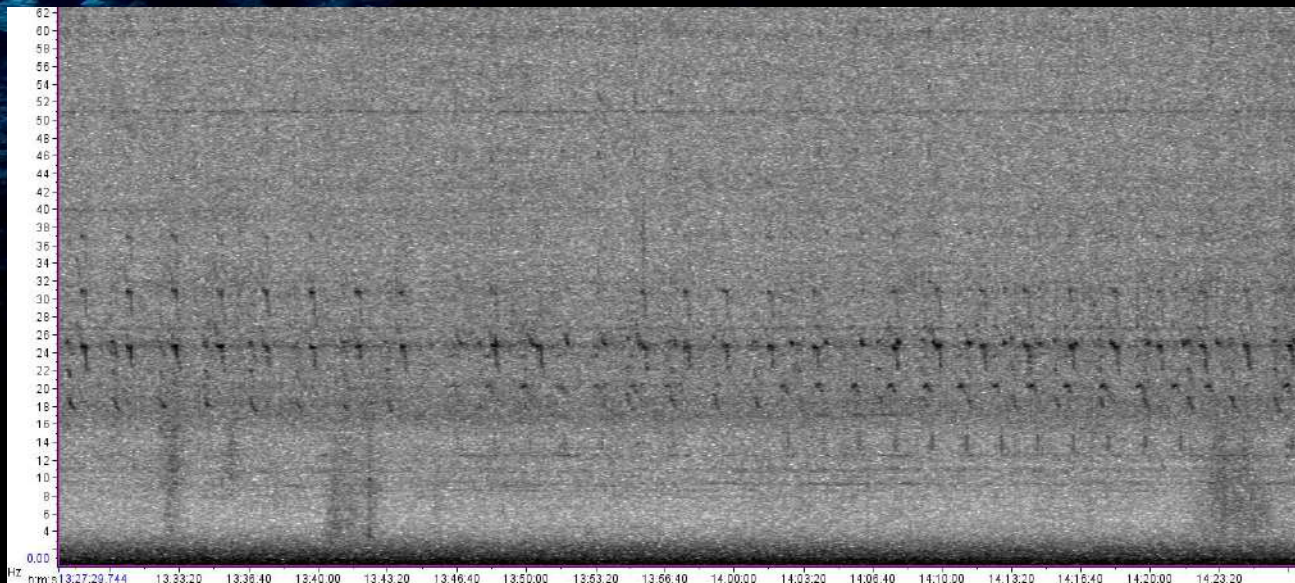


Proyecto Glider
Universidad de
Concepcion



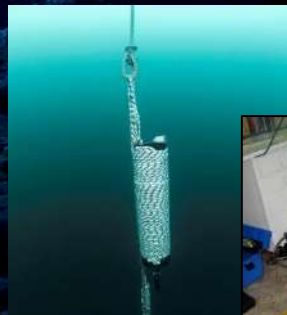
Análisis Bioacústico

- Requiere investigadores y analistas con **experiencia**.
- Técnicas computacionales avanzadas para lidiar con una **gran cantidad de datos**.
- Técnicas analíticas **manuales** (ej.. software Raven)
- Técnicas analíticas **semi-supervisados** (ej.. MATLAB; Dra. Patris & Dr. Malige – U. Toulon)
- Técnicas analíticas avanzados (**Machine learning**, ej. Proyecto Universidad de Chile-Universidad de Concepción)

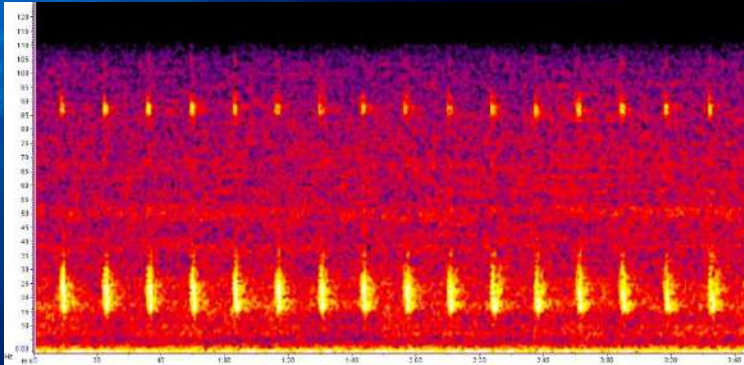


Estudios bioacústicos sobre ballenas azules y fin en el Pacífico Suroriental

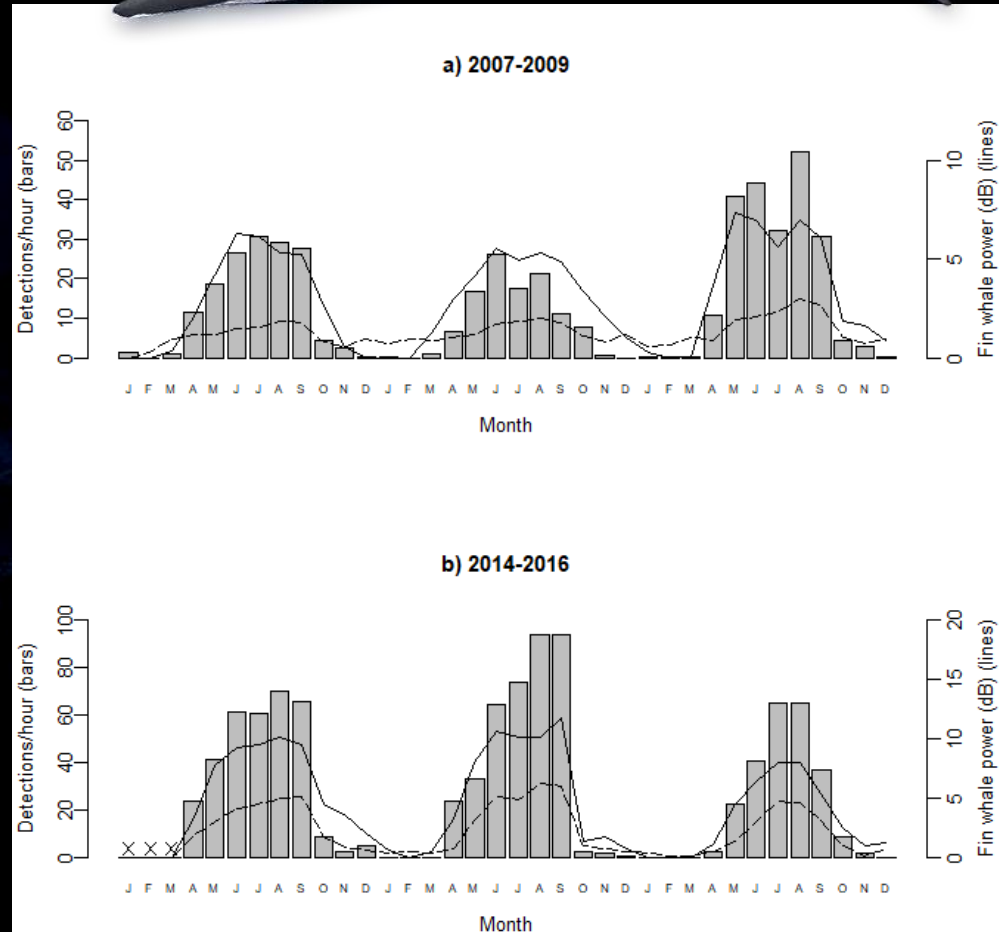
- Una serie colaboraciones nacionales e internacionales desde 2007 hasta hoy para monitorear la presencia de ballenas azules chilena, antárticas y fin y sus migraciones en el Pacífico Suroriental.
- Actualmente no hay otro método que permite este nivel de cobertura geográfica y temporal.



Ballena fin en Juan Fernández

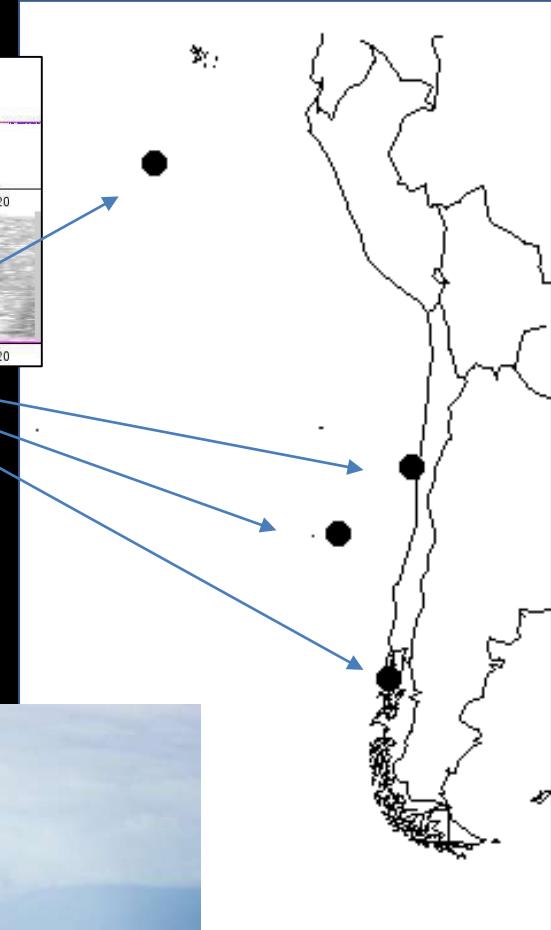
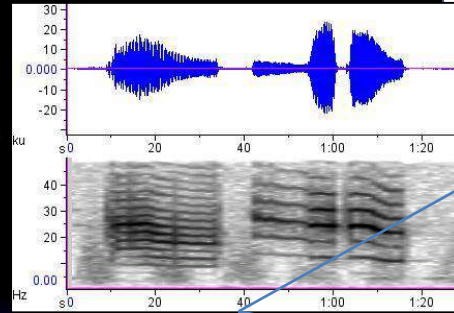


- Variación temporal de detecciones de cantos de ballenas fin en Juan Fernández (barras) y de Índice de Potencia Acústica de la Ballena fin (líneas) (Buchan et al. *En Revisión*)
- Evidencia presencia Acústica estacional sobre 6 años.



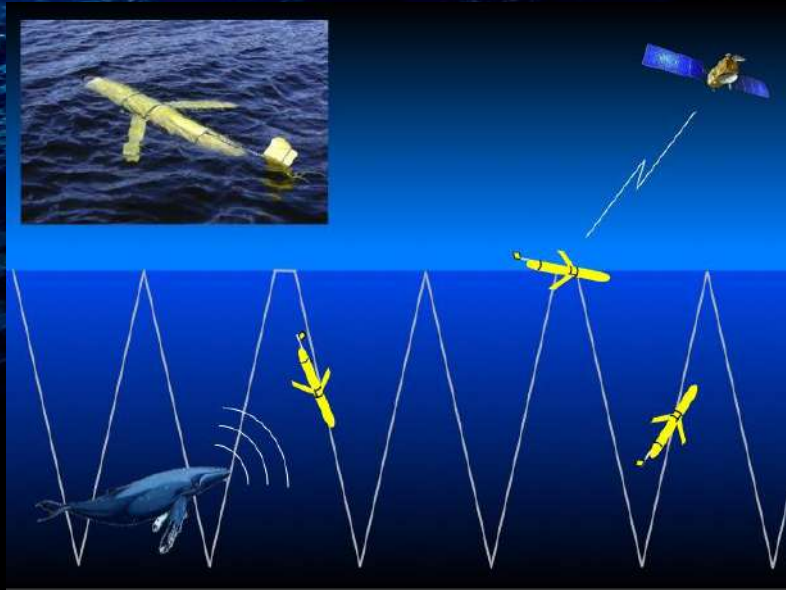
Ballena azules Chilenas en el Pacifico Suroriental

- Un población de ballenas azules chilenas que se alimentan en la Patagonia Chilena, que visitan el norte de Chile y los áreas oceánicas como Juan Fernández, y pasan el invierno en aguas oceánicas del Pacifico suroriental y Pacifico tropical.
- Destaca la importancia de aguas territoriales chilenas para esta especie en Peligro de Extinción
- (Buchan et al. 2010, 2014, 2015, 2018)

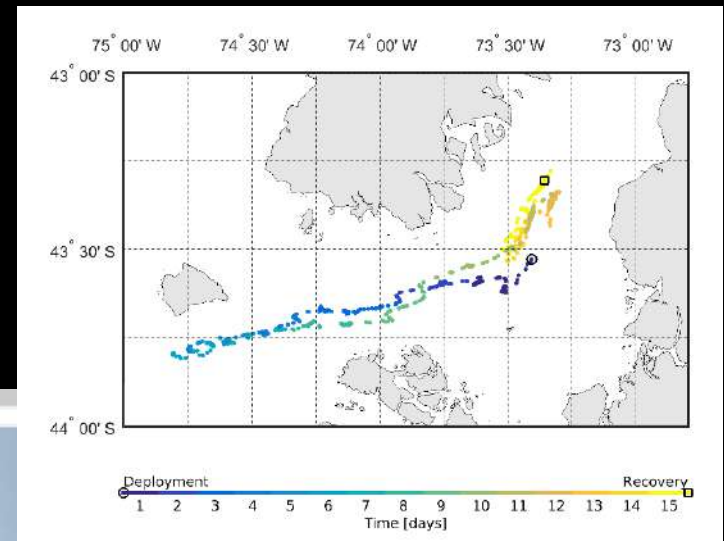
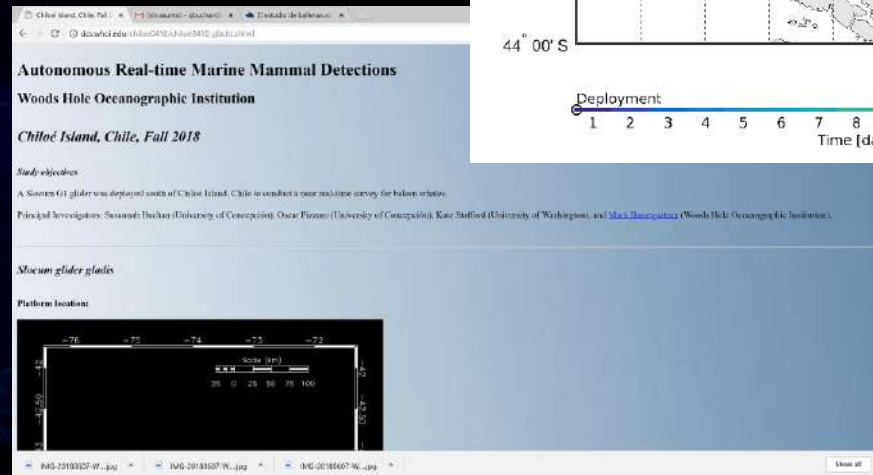


Monitoreo Acústico Pasivo en Tiempo Real en el Golfo Corcovado

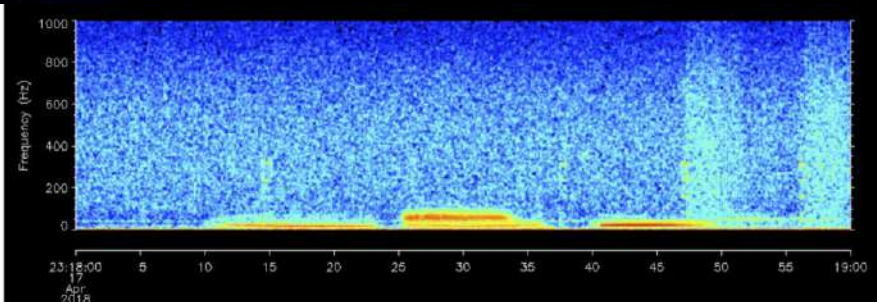
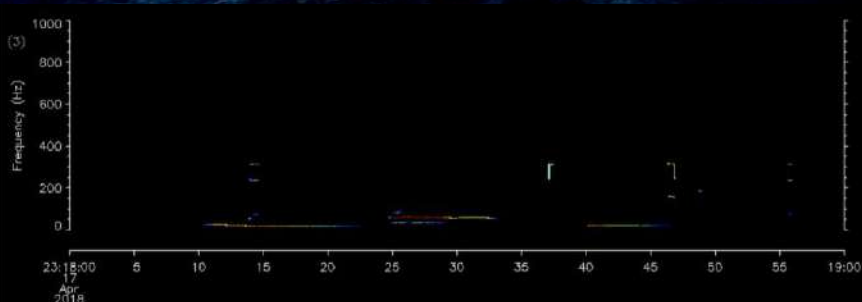
- Hábitat crítico de ballenas en Peligro de Extinción, ej. ballena azules
- Ruta de navegación importante
- Reporte de colisiones fatales en el golfo Corcovado y toda la costa chilena
- Hacia **un sistema de alerta de presencia de ballenas**
- Mitigación de contaminación acústica
- Reducir riesgos de colisiones fatales



- Realizamos una campana de 2 semanas en abril 2018 y vimos en tiempo real la presencia acústica de ballenas
- Visualización de **presencia acústica en tiempo real** en la pagina web dcs.whoi.edu



Ej. Cantos de ballenas azules chilenas el 17 April



A futuro: Sistema de alerta acústica de presencia de ballenas como fuera del Puerto de Boston

- Difusión instantánea de presencia acústica vía AIS, mensaje de texto, App de celular

dcs.whoi.edu

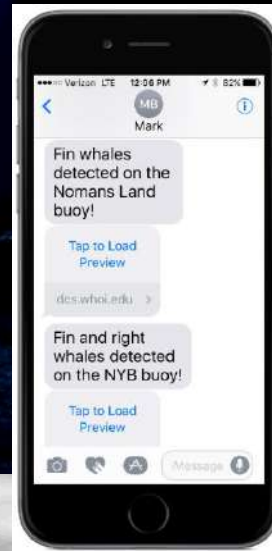
Daily alert review:

Date	Sei whale	Fin whale	Right whale	Humpback whale
09/04/2015				
09/03/2015				
09/02/2015				
09/01/2015				
08/31/2015				
08/30/2015				
08/29/2015				
08/28/2015				

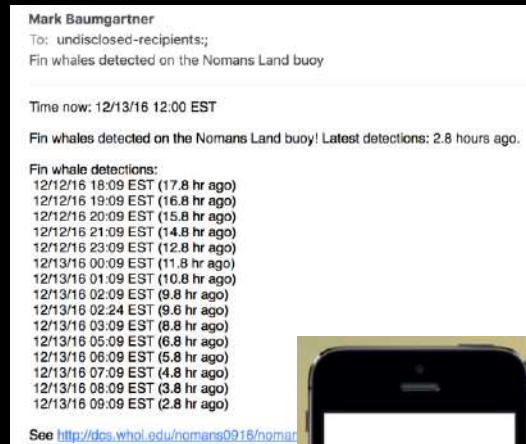
AIS



Text message



Email message



Whale
Alert
app



Tweet



Ecología del Paisaje Acústico Bajo el Mar

Sonido submareal como señal de orientación para el asentamiento
de **invertebrados y peces**:

Sonidos antropogénicos encubren la señal?

1. Descripción de sonido ambiente (especies).
3. Identificar que larvas utilizan el sonido?
4. Cual es el efecto del sonido antropofono?



FONDECYT 30 AÑOS
Apoyando la investigación
científica y tecnológica en Chile

Que estamos haciendo en Chile para apoyar la toma de decisiones?

- Creación de la **Mesa de Ruido Submarino** sectorial dentro del Ministerio del Medio Ambiente liderado por el Depto. de Ruido, Lumínica y Olores
- Asesoría para “la Elaboración del **Guía Técnica** para la Evaluación de Impacto por Ruido Subacuático” Dra. Susannah Buchan, Dr. Iván Hinojosa, Dra. Julie Patris, Dr. Marcelo Flores.



An underwater photograph with a diver in the upper right corner, silhouetted against the bright surface light. The diver is holding a flashlight. The foreground shows a dark, rocky seabed. The text "Muchas gracias" is centered in the middle of the image in a bold, yellow font.

Muchas gracias