

# 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

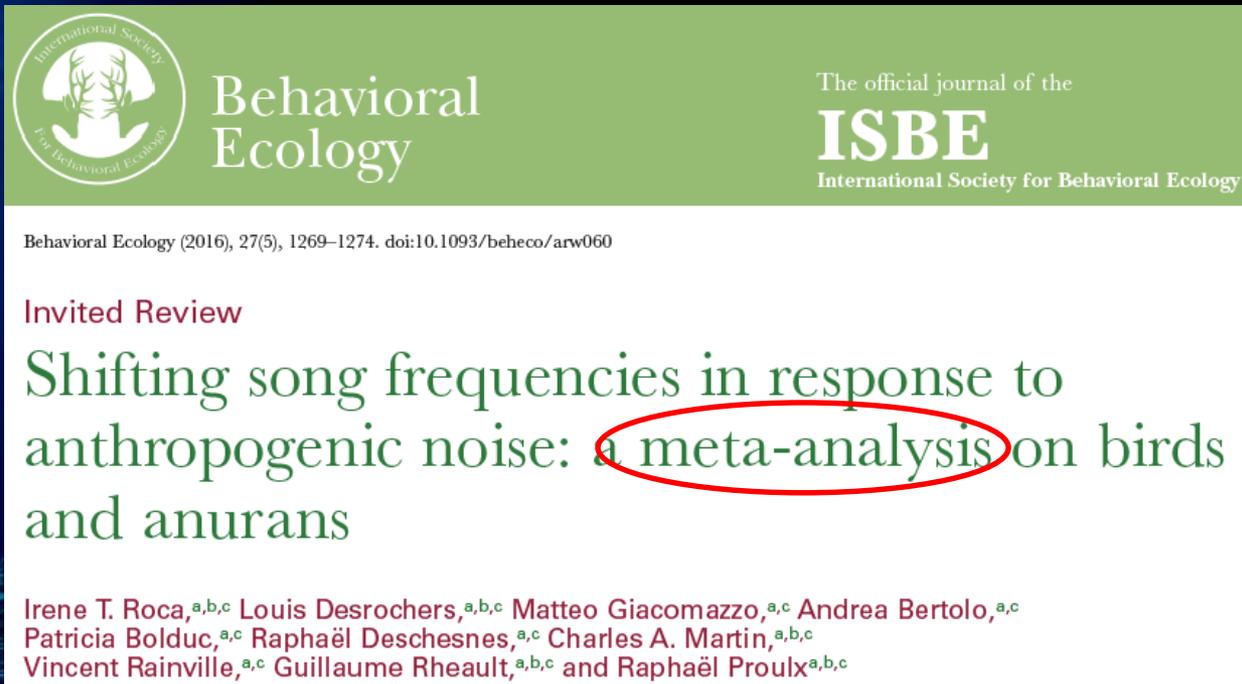
## Paisaje Acústico

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

## Actividad Abiótica

Clima (tormentas)  
Terremotos  
hielo

### Geofonía

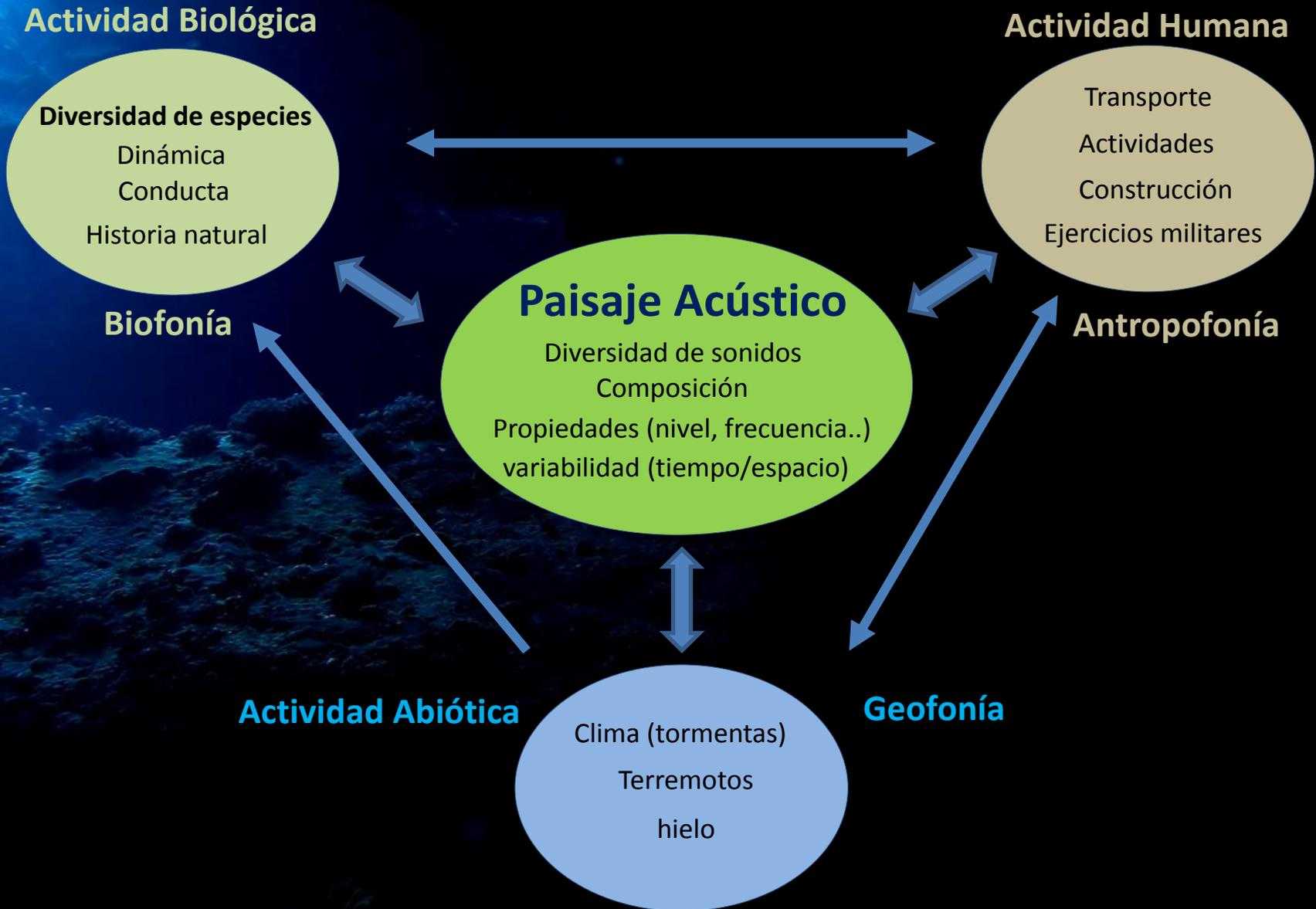


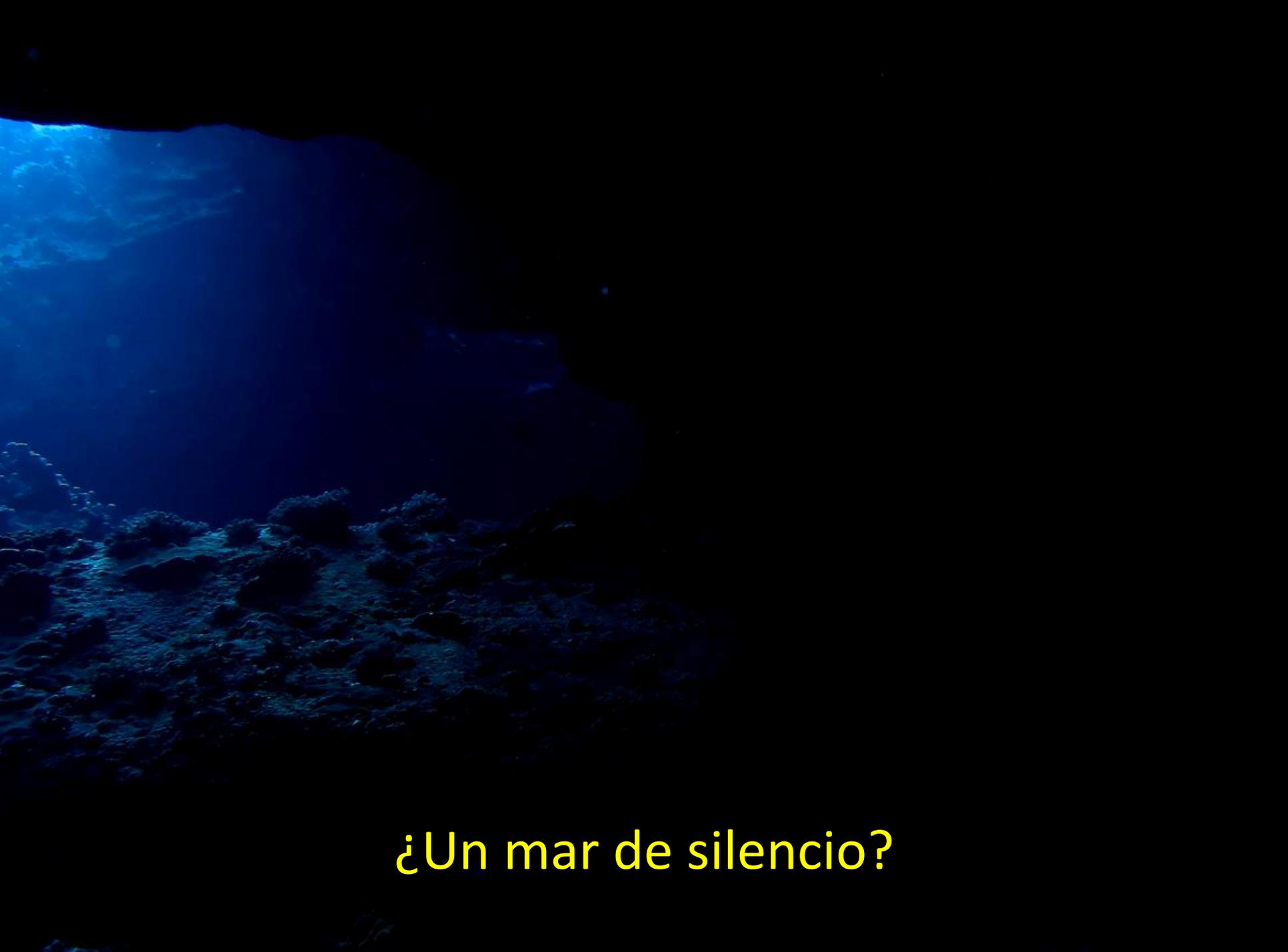
Mas de **160 experimentos** en **60 especies** de aves y anfibios.

**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?

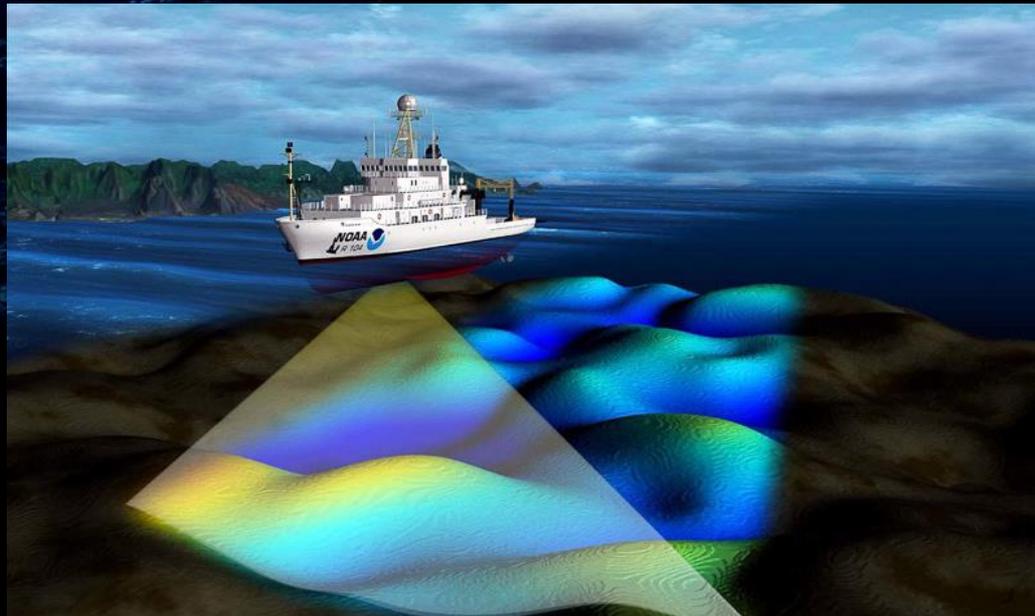
# El océano es un medio acústico por excelencia

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)

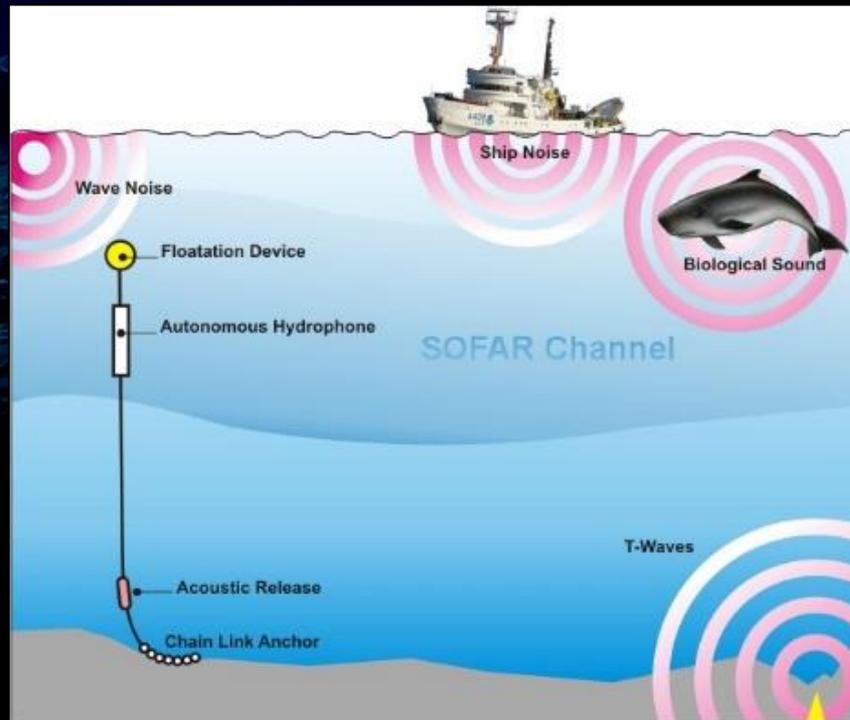
Hidroacústica



# 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

## 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

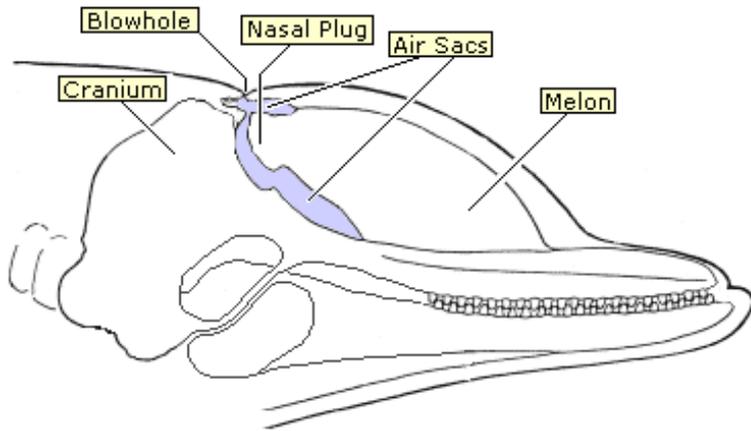
Clima (tormentas)  
Terremotos  
hielo

## Geofonía

# Ecología del Paisaje Acústico Submareal



- 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

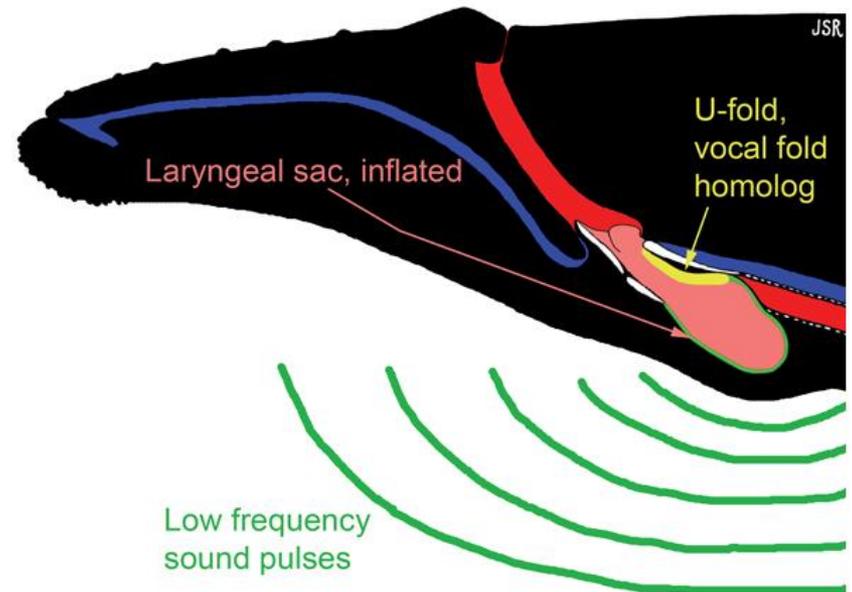


Dolphins produce sounds by passing air through air sacs in their head. Adapted from Dolphin Acoustical Structure (1991) Scheifele, P.M. NUSC TR3080.

- **Odontocetos** (delfines, orca, cachalote)

- Ecolocalización - clicks - caza, navegación
- Vocalizaciones sociales - silbidos, sonidos pulsados – interacciones sociales

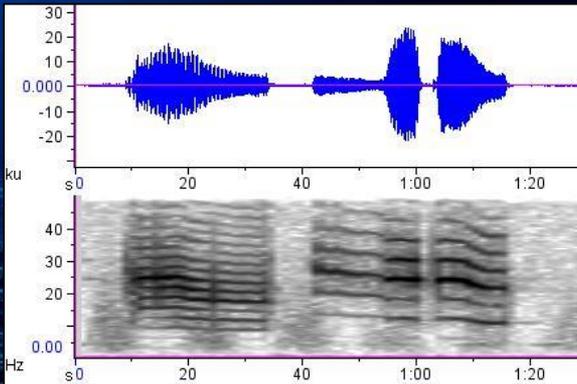
- **Misticetos** (ballenas)
- Vocalizaciones sociales – pulsado o tonal



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.

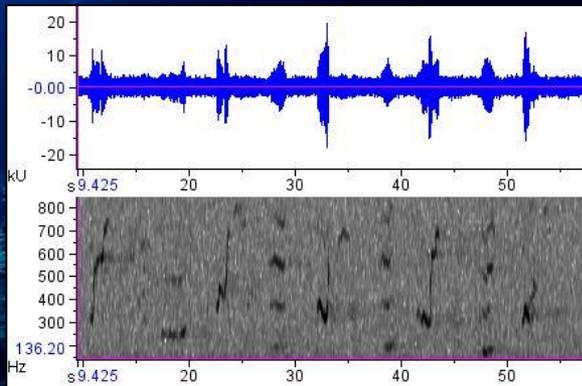
# Ecología del Paisaje Acústico Submareal

## Ballena azul chilena del Golfo Corcovado



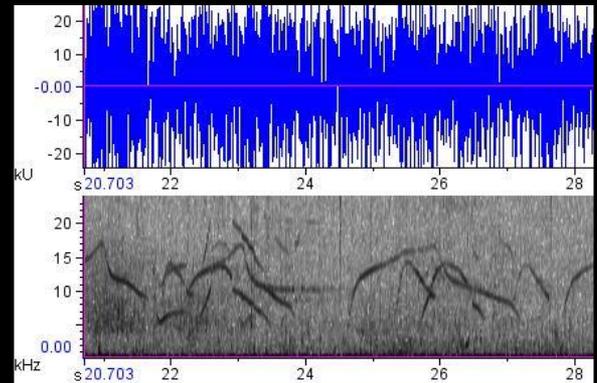
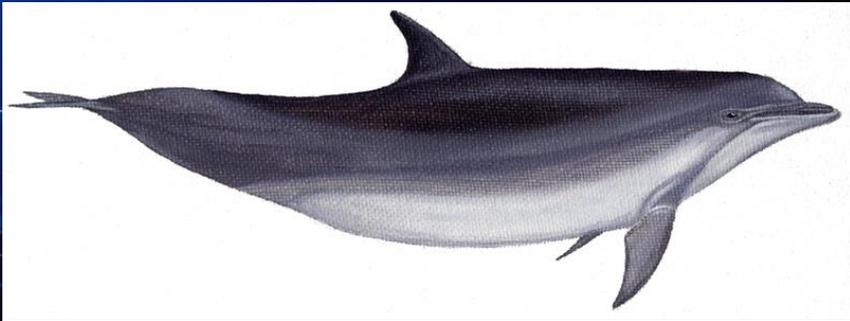
# Ecología del Paisaje Acústico Submareal

## Ballena jorobada del Golfo Corcovado

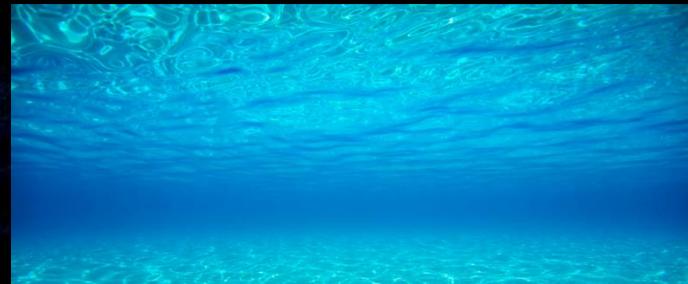


# Ecología del Paisaje Acústico Submareal

## Delfín nariz de botella del Golfo Corcovado



# Ecología del Paisaje Acústico Submareal



Vol. 40: 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<sup>1,\*</sup>, J. A. Stanley<sup>1</sup>, C. T. Tindle<sup>2</sup>, J. C. Montgomery<sup>1</sup>, A. G. Jeffs<sup>1</sup>

# Ecología del Paisaje Acústico Submareal

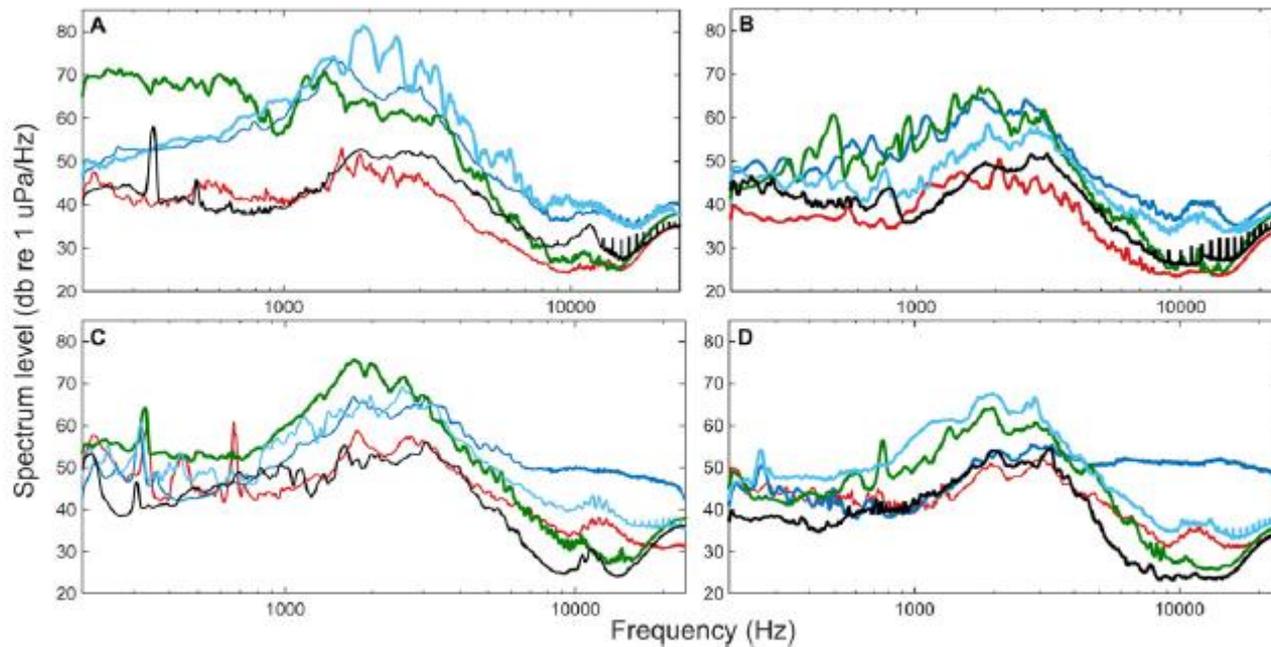
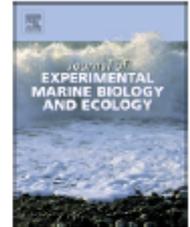


ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Experimental Marine Biology and Ecology

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jembe](http://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<sup>1,\*</sup>, J. A. Stanley<sup>1</sup>, C. T. Tindle<sup>2</sup>, J. C. Montgomery<sup>1</sup>, A. G. Jeffs<sup>1</sup>

# Ciclos de vida con estados larvales

## Puerulus

1 month  
STRONG horizontal  
swimming capacity



Marine National Facility

## Currents and Eddies

Push several kilometres offshore

## Phyllosoma

18-24 months  
NO horizontal  
swimming capacity



Ivan A. Hinojosa

## Adults

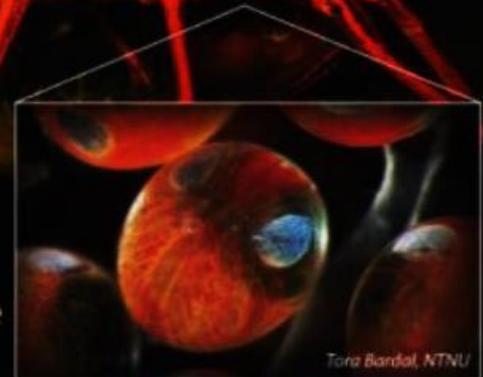
7-10 years to be sexually mature  
lives 20-30 years



Ivan A. Hinojosa

## Eggs

3-6 Months  
attached to female



Tora Bandal, NTNU

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<sup>1,2,\*</sup>, Andrew Jeffs<sup>3</sup>, John C. Montgomery<sup>1</sup>

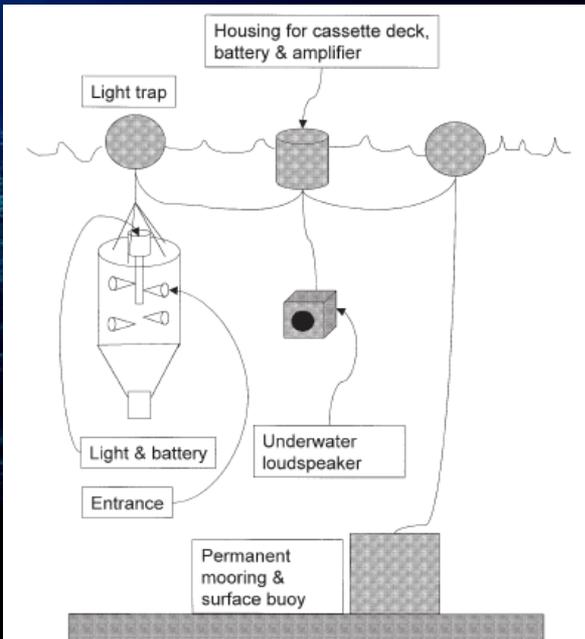


Fig. 1. Experimental apparatus showing configuration of the light trap and underwater sound playback equipment. The 'silent' control traps included a 'dummy' surface barrel but no loudspeaker. Drawing not to scale

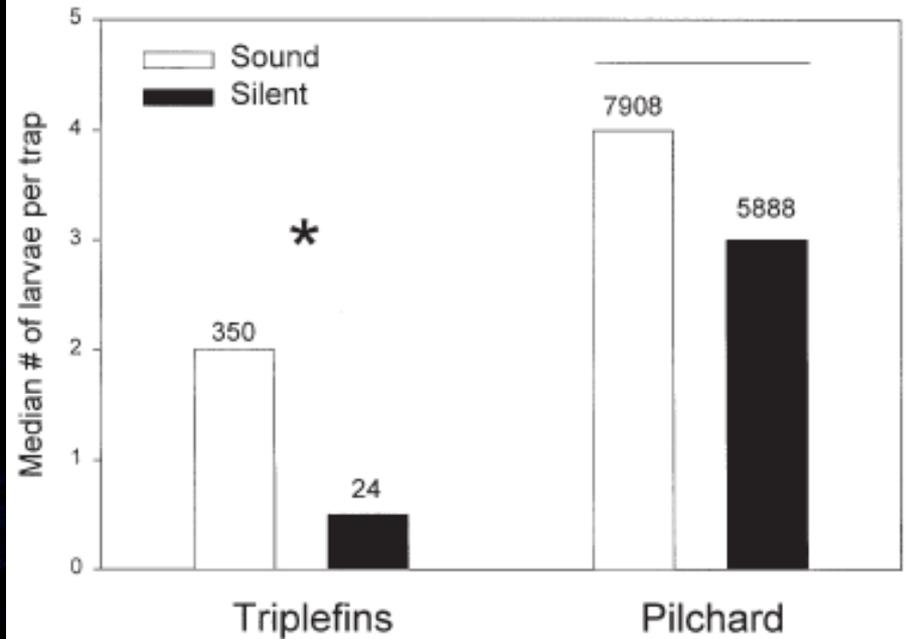


Fig. 4. Median number of fish larvae caught per trap per night for sound and silent treatments over 14 nights ( $n = 27$ ). Numbers over bars = range (and maximum, as minimum number was 0 for all treatments); \*  $p < 0.05$ ; horizontal line indicates treatments that could not be distinguished statistically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

# Ecología del Paisaje Acústico Submareal

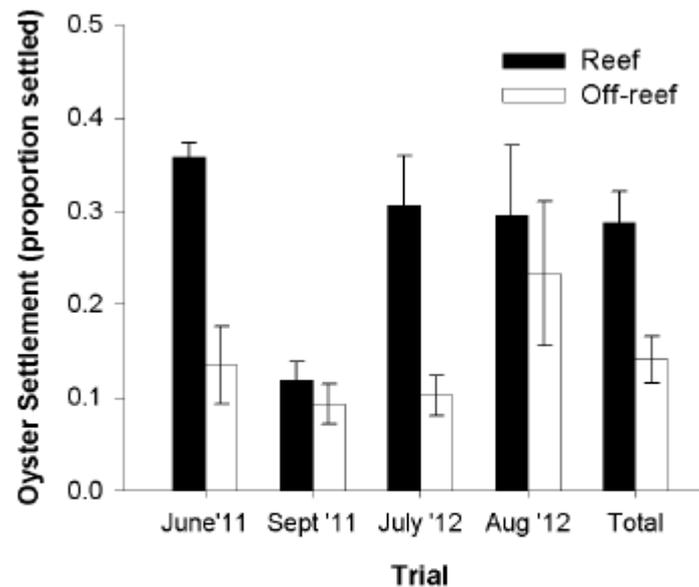
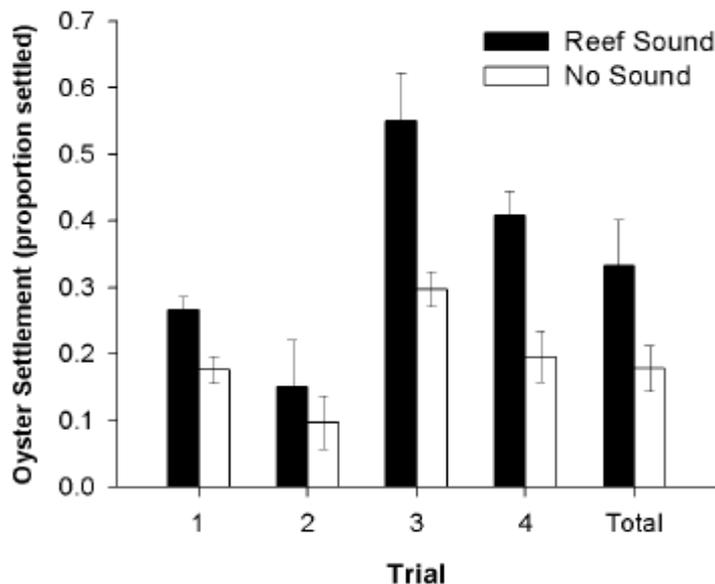


OPEN ACCESS Freely available online

PLOS ONE

## Oyster Larvae Settle in Response to Habitat-Associated Underwater Sounds

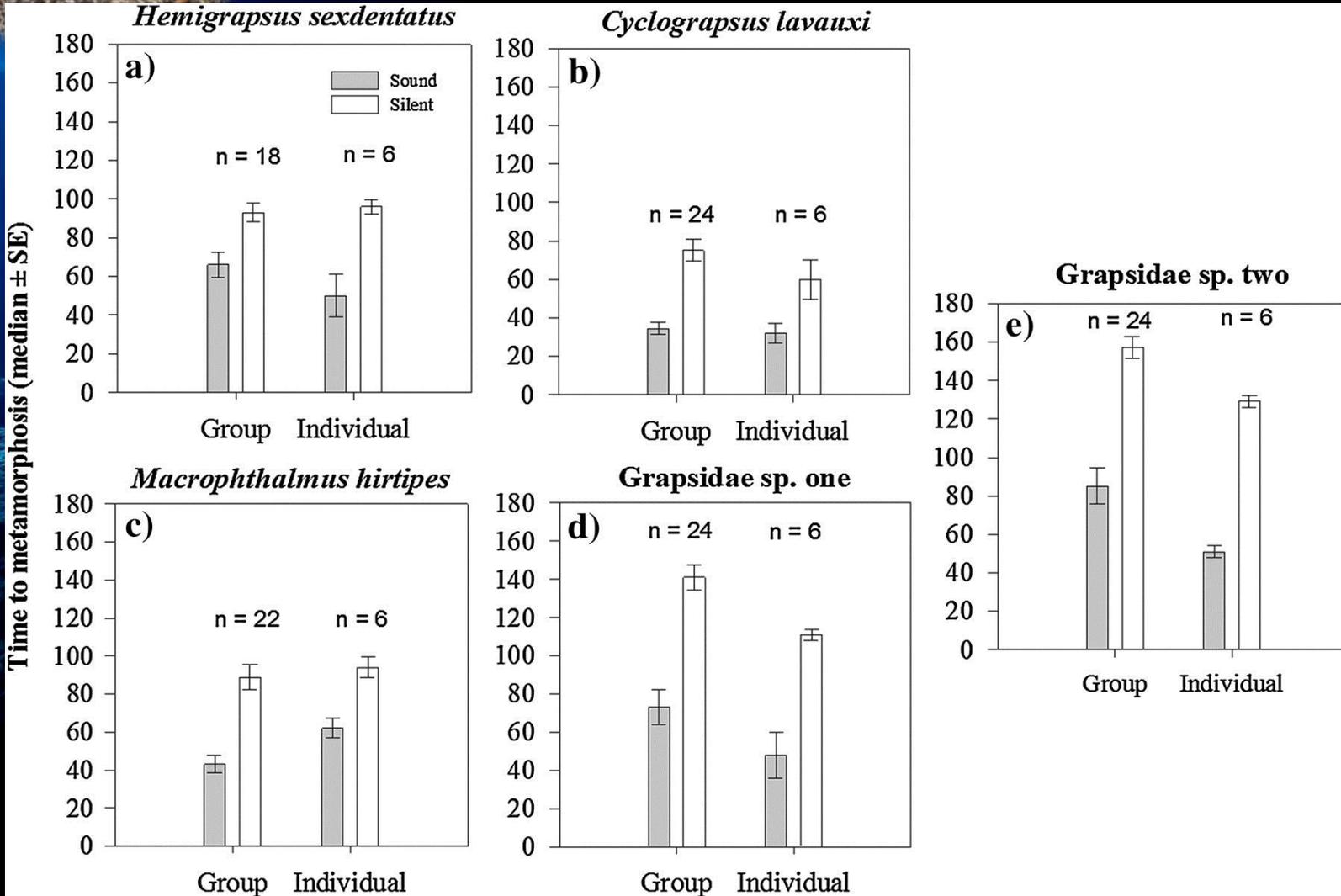
Ashlee Lillis\*, David B. Eggleston, DelWayne R. Bohnenstiehl



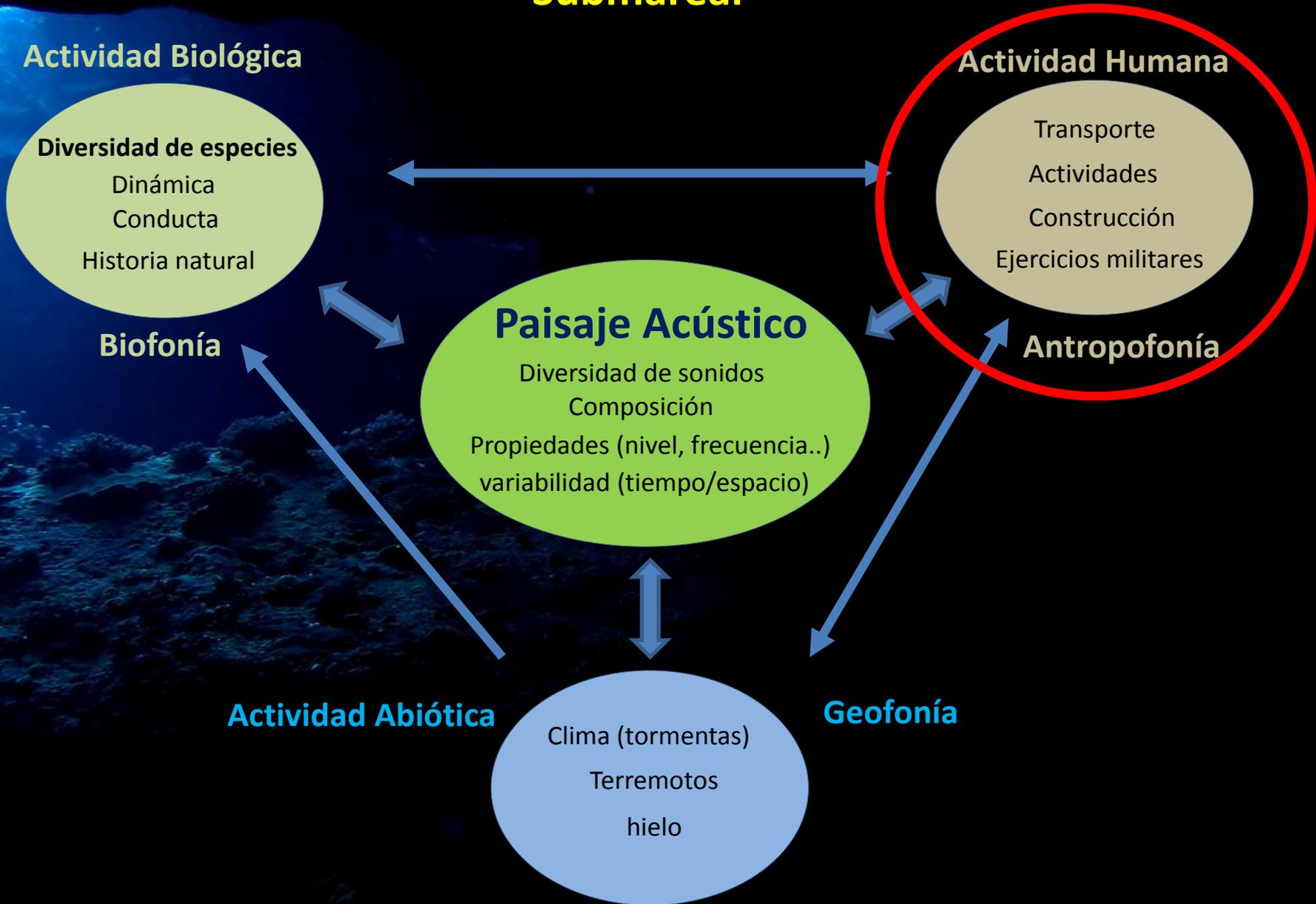
**Figure 7. Mean oyster settlement in reef sound and no sound treatments for laboratory experiment 1 trials.** Settlement was measured as proportion of larvae settled in a culture at the termination of a trial. Error bars represent 1 S.E. N=28. doi:10.1371/journal.pone.0079337.g007

**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 Submareal



# 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<sup>1,\*</sup>, Susan E. Parks<sup>2,†</sup>, Kathleen E. Hunt<sup>1</sup>,  
Manuel Castellote<sup>3</sup>, Peter J. Corkeron<sup>4,‡</sup>, Douglas P. Nowacek<sup>5</sup>,  
Samuel K. Wasser<sup>6</sup> and Scott D. Kraus<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Recent 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. ARBELO

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?

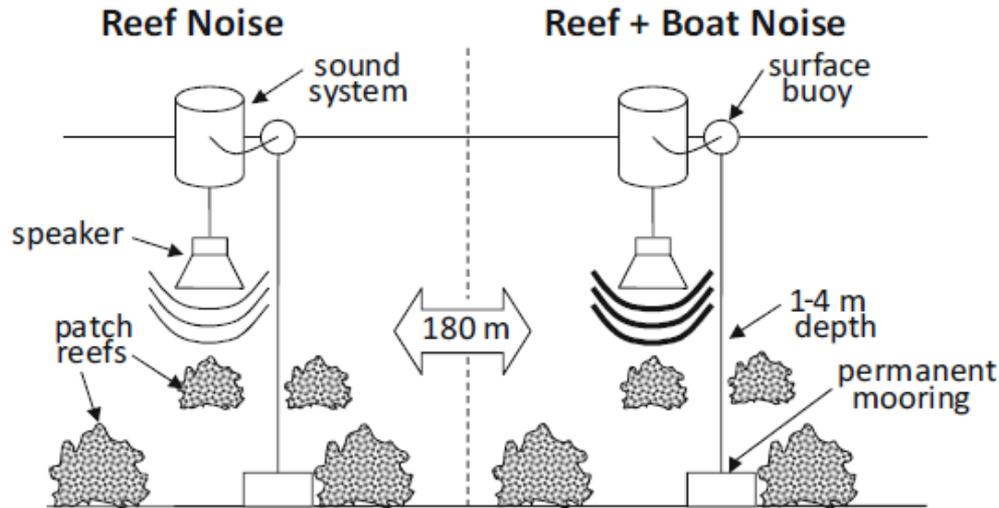
There are spatial and temporal links between some mass strandings of cetaceans — predominantly beaked whales — and the deployment of military sonar<sup>1,2</sup>. Here we present evidence of acute and chronic tissue damage in stranded cetaceans that results from the formation *in vivo* of gas bubbles, 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, acute hepatocellular necrosis or fibrosis.

experimental animals as a result of expansion of pre-existing gas nuclei within nitrogen-supersaturated tissues<sup>3</sup>. Anatomical, physiological and behavioural adaptations may mitigate against *in vivo* formation of nitrogen bubbles in marine mammals<sup>4,5</sup>, although there is empirical evidence of nitrogen supersaturation in cetaceans<sup>6</sup>. Some deep-diving species are predicted to undergo up to 300% nitrogen tissue supersaturation. Slow diffusion to nitrogen

# 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

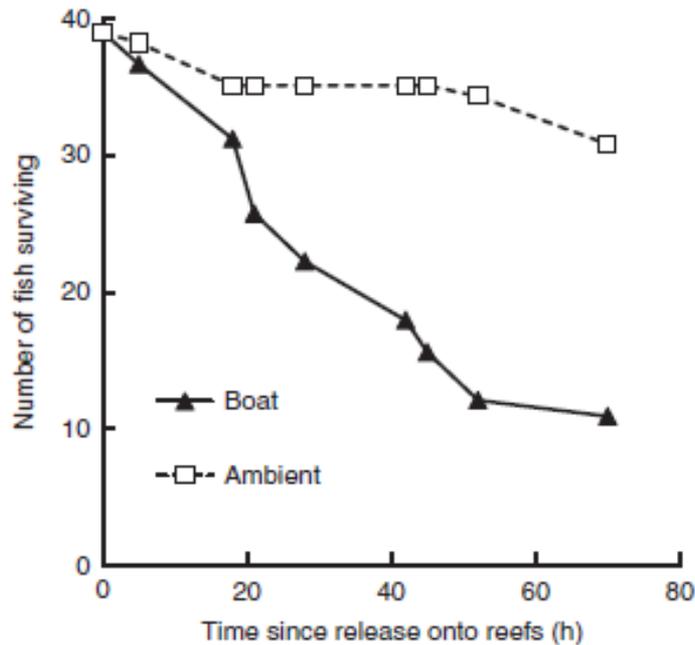


© Andy Green



WWW.REEFLIFESURVEY.COM

# Ecología del Paisaje Acústico Submareal



## 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. Simpson<sup>1</sup>, Andrew N. Radford<sup>2</sup>, Sophie L. Nedelec<sup>2</sup>, Maud C.O. Ferrari<sup>3</sup>, Douglas P. Chivers<sup>4</sup>, Mark I. McCormick<sup>5</sup> & Mark G. Meekan<sup>6</sup>



**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.

# 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

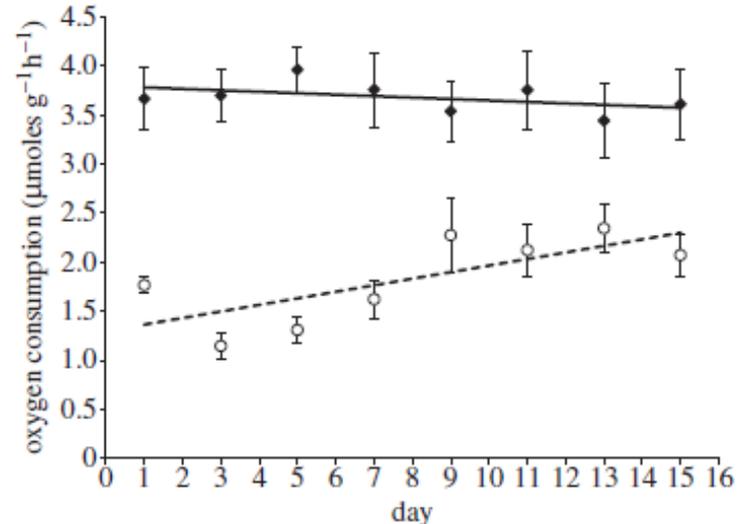
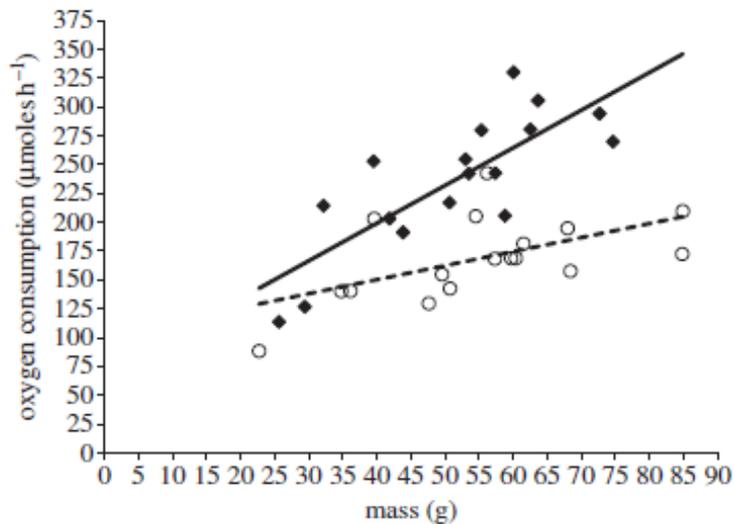
Matthew A. Wale<sup>1</sup>, Stephen D. Simpson<sup>2</sup> and Andrew N. Radford<sup>1</sup>



Research

<sup>1</sup>School of Biological Sciences, University of Bristol, Woodland Road, Bristol BS8 1UG, UK

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



# Ecología del Paisaje Acústico Submareal

## ICES Journal of Marine Science



ICES  
CIEM

International Council for  
the Exploration of the Sea

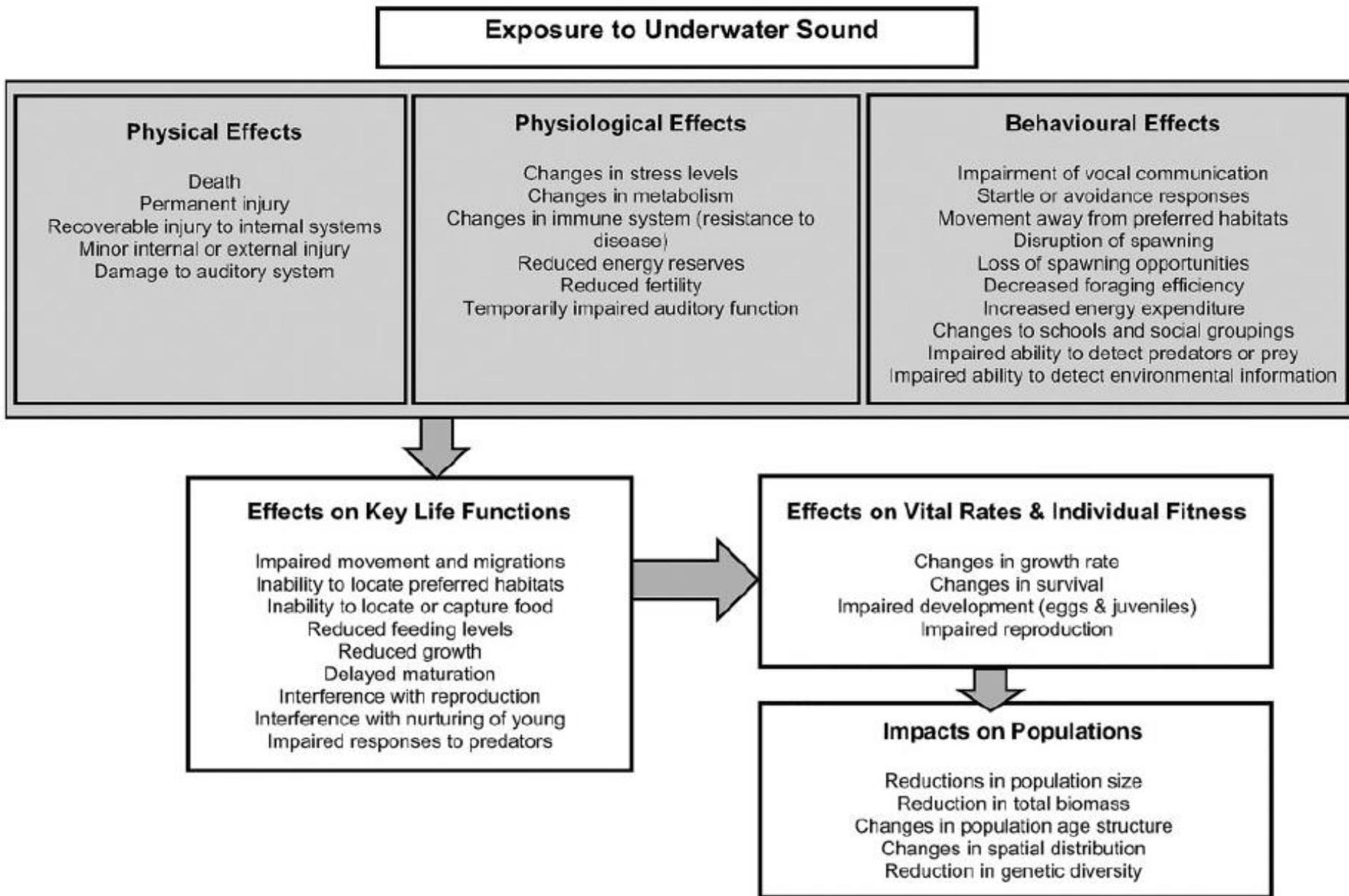
Conseil International pour  
l'Exploration de la Mer

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

### Quo Vadimus

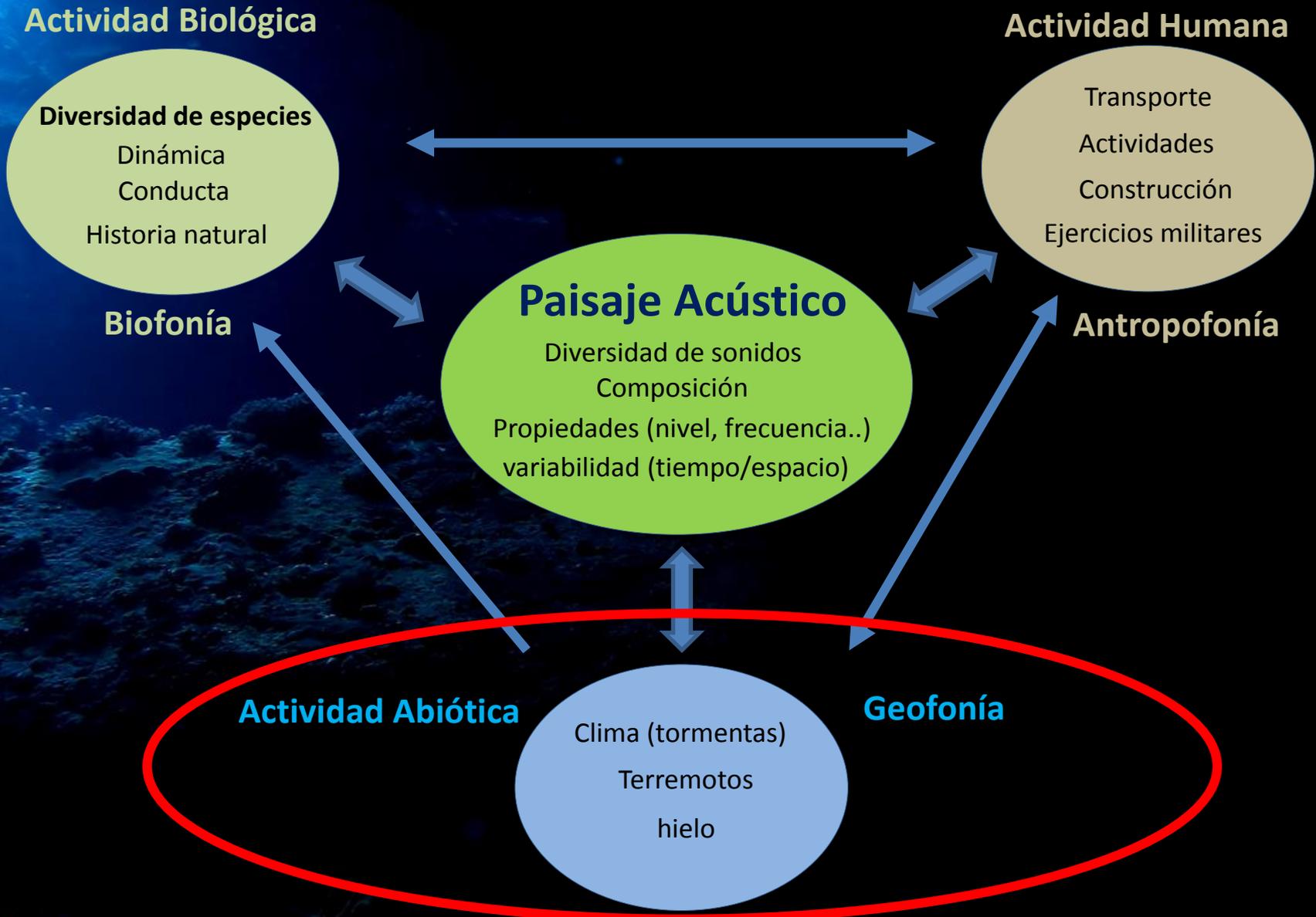
## A sound approach to assessing the impact of underwater noise on marine fishes and invertebrates

Anthony D. Hawkins<sup>1,\*</sup> and Arthur N. Popper<sup>2</sup>



**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

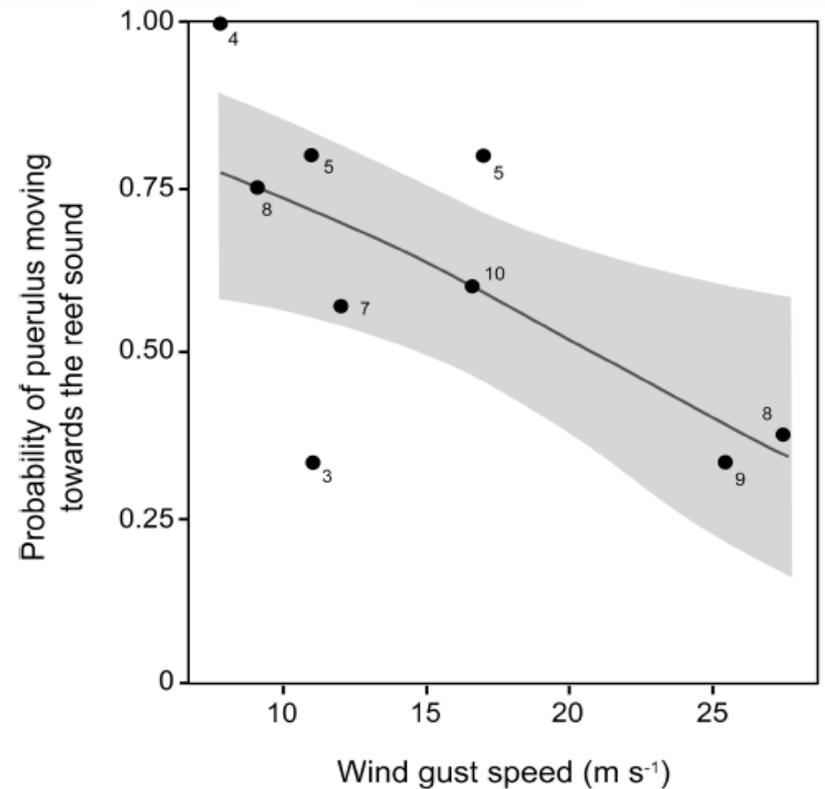
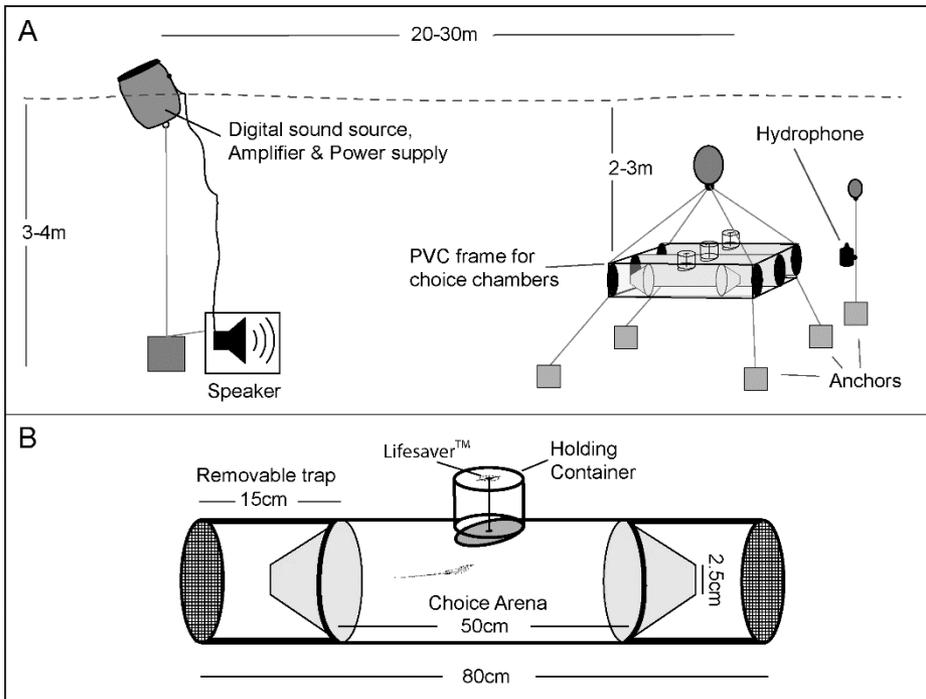


# Ecología del Paisaje Acústico Submareal

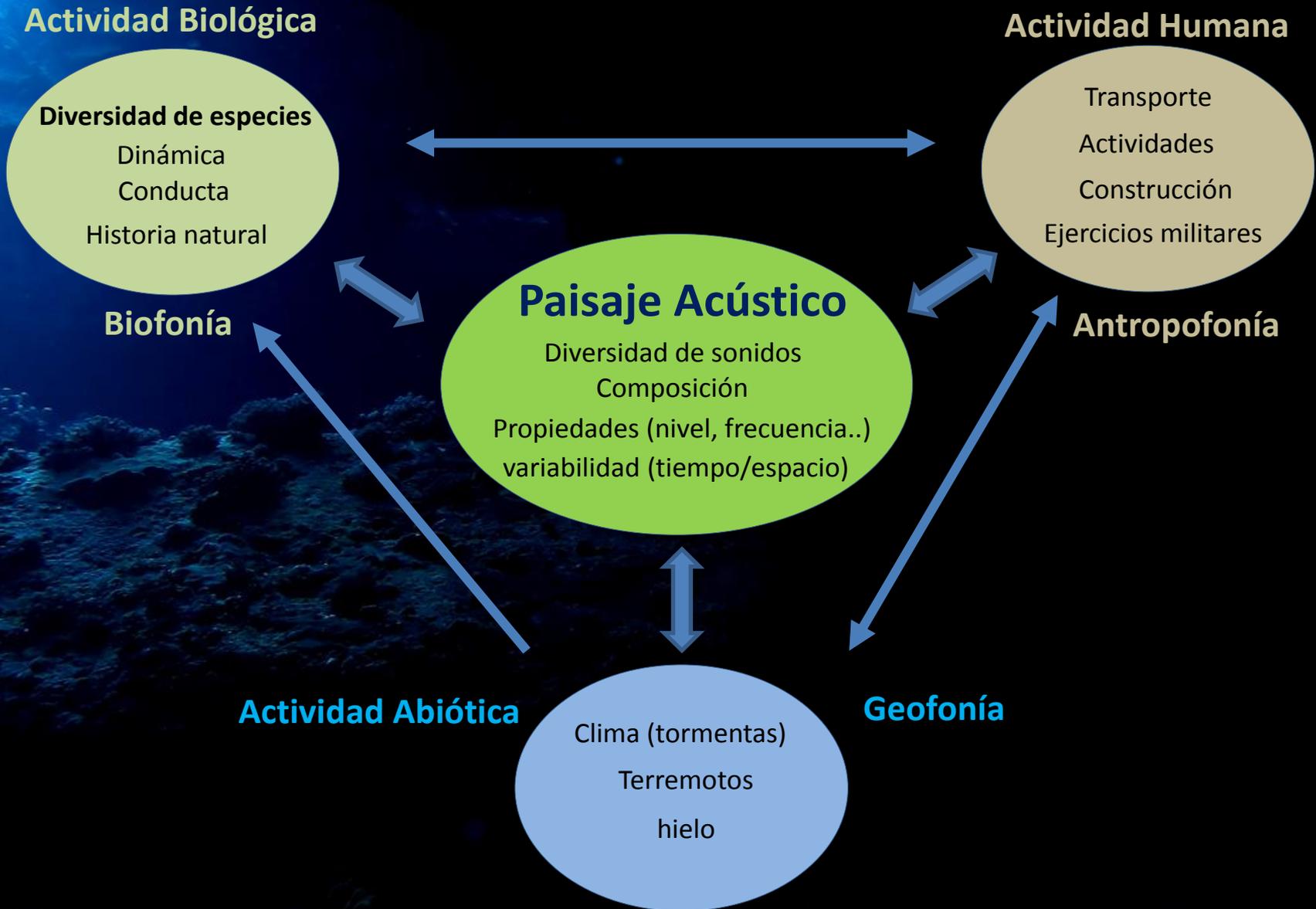
RESEARCH ARTICLE

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

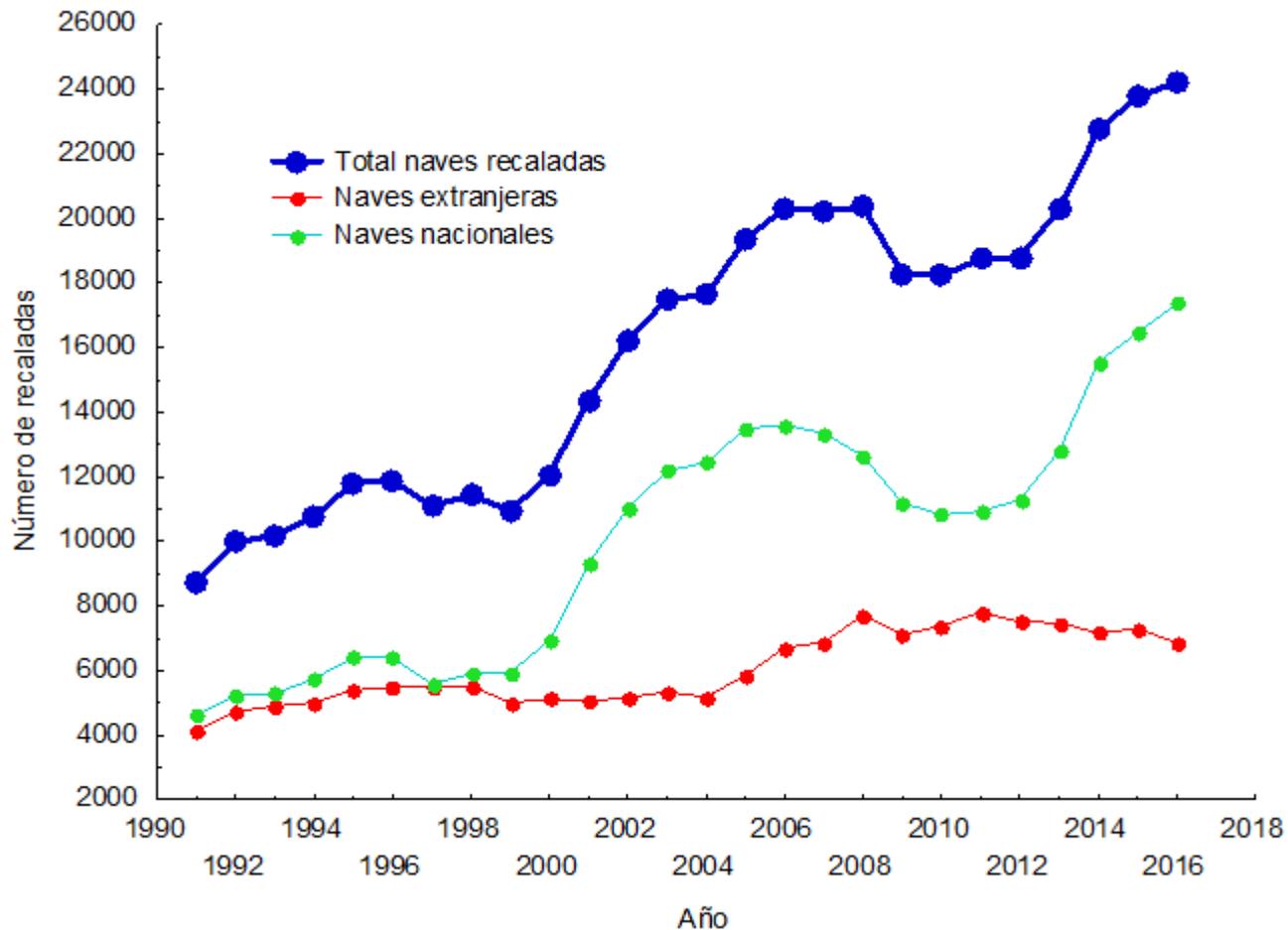
Ivan A. Hinojosa<sup>1,2,3\*</sup>, Bridget S. Green<sup>1</sup>, Caleb Gardner<sup>1</sup>, Jan Hesse<sup>4</sup>, Jenni A. Stanley<sup>4</sup>, Andrew G. Jeffs<sup>4</sup>



# Ecología del Paisaje Acústico Submareal



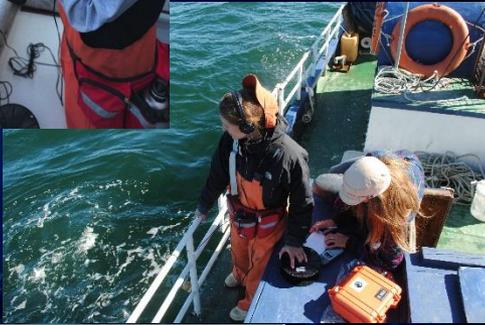
# Ecología del Paisaje Acústico Submareal en Chile



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.

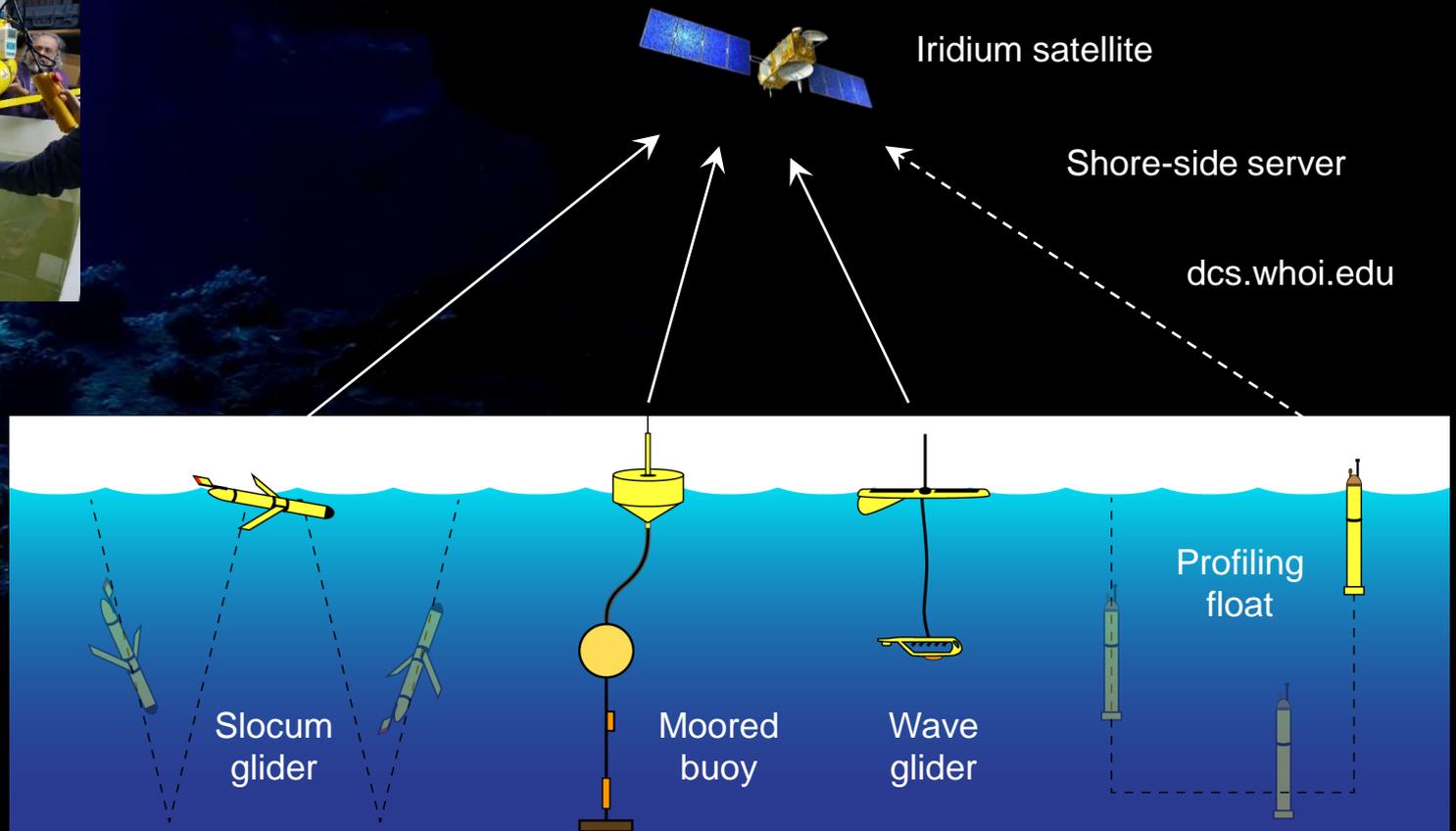


# Monitoreo Acústico Pasivo en Tiempo Real

- Enorme potencial para la toma de decisiones

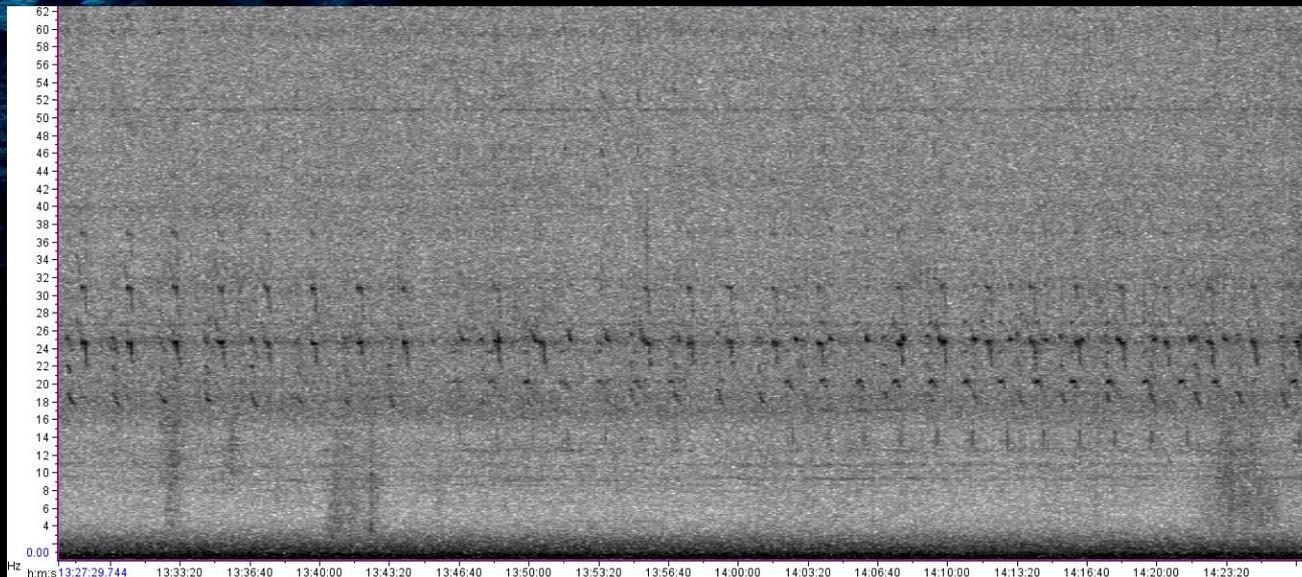


Proyecto Glider  
Universidad de  
Concepcion



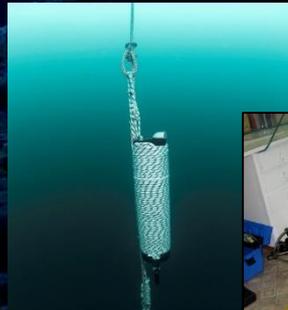
# Análisis Bioacústico

- 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 avanzadas (**Machine learning**, ej. Proyecto Universidad de Chile-Universidad de Concepción)

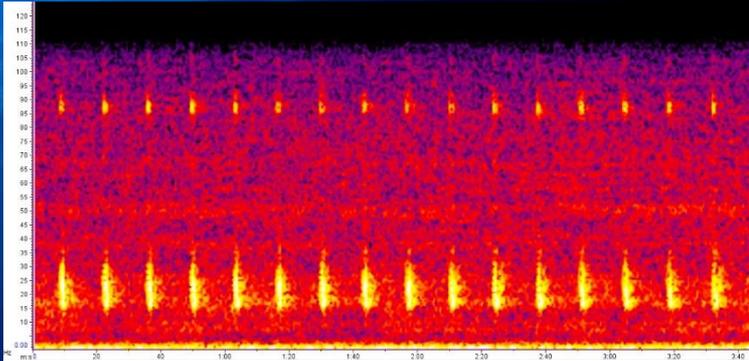


# Estudios bioacústicos sobre ballenas azules y fin en el Pacífico Suroriental

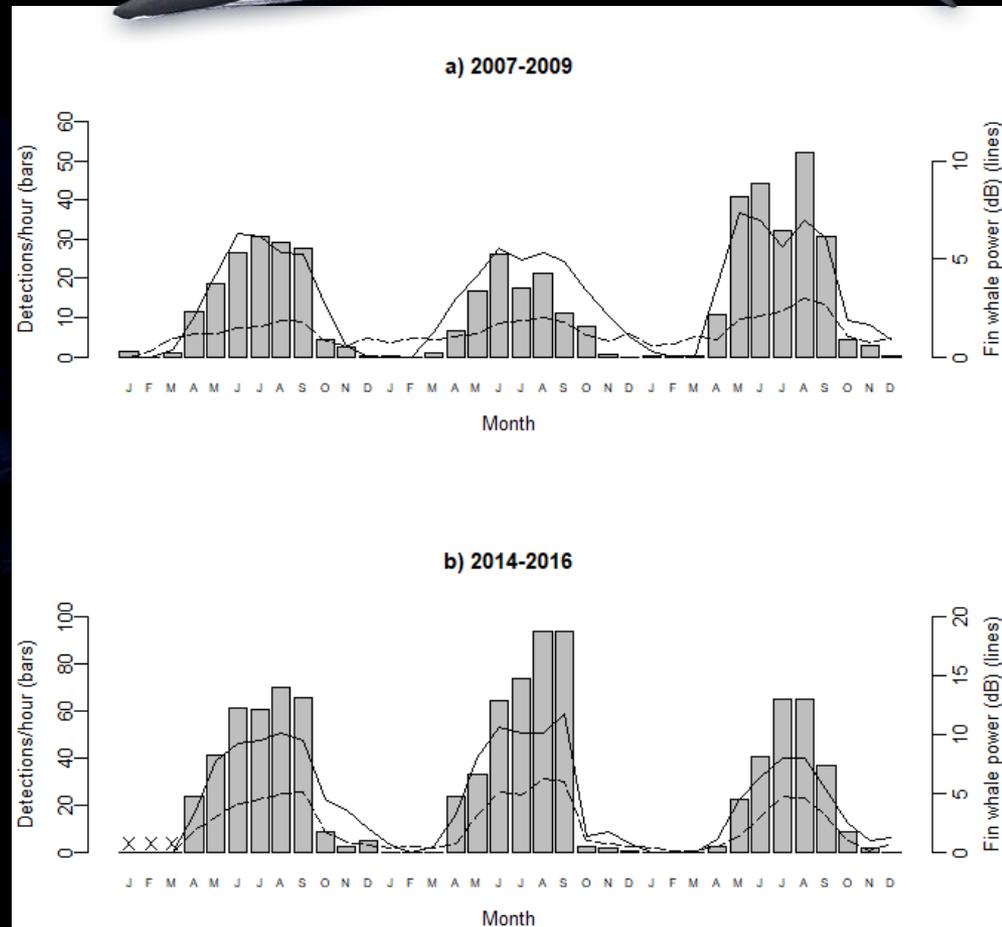
- Una serie de colaboraciones nacionales e internacionales desde 2007 hasta hoy para monitorear la presencia de ballenas azules chilena, antárticas y fin y sus migraciones en el Pacífico Suroriental.
- Actualmente no hay otro método que permita este nivel de cobertura geográfica y temporal.



# Ballena fin en Juan Fernández

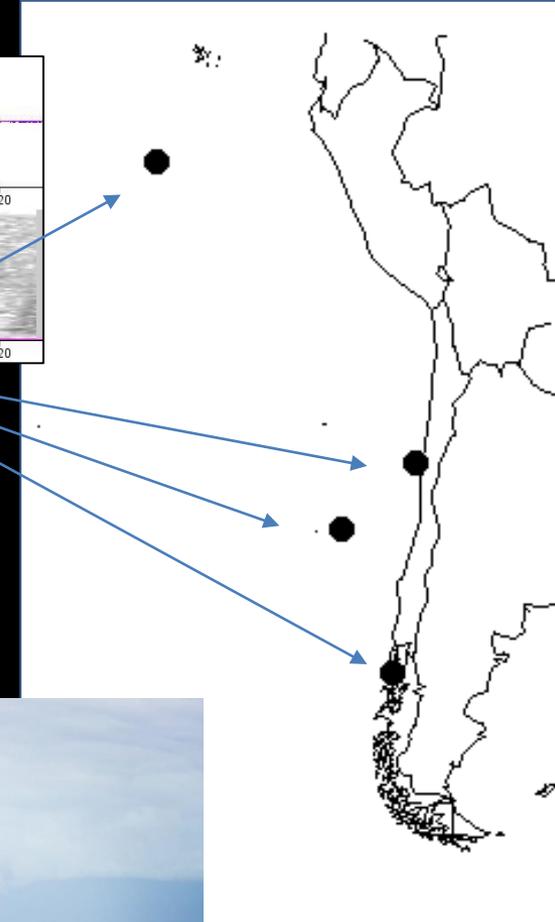
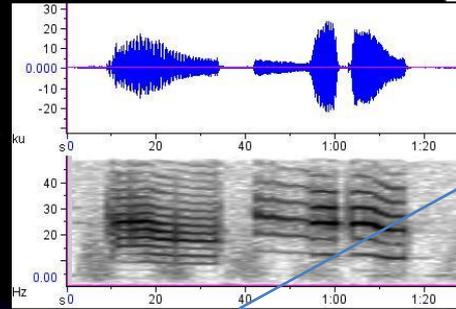


- Variación temporal de detecciones de cantos de ballenas fin en Juan Fernández (barras) y de Índice de Potencia Acústica de la Ballena fin (líneas) (Buchan et al. *En Revisión*)
- Evidencia presencia Acústica estacional sobre 6 años.



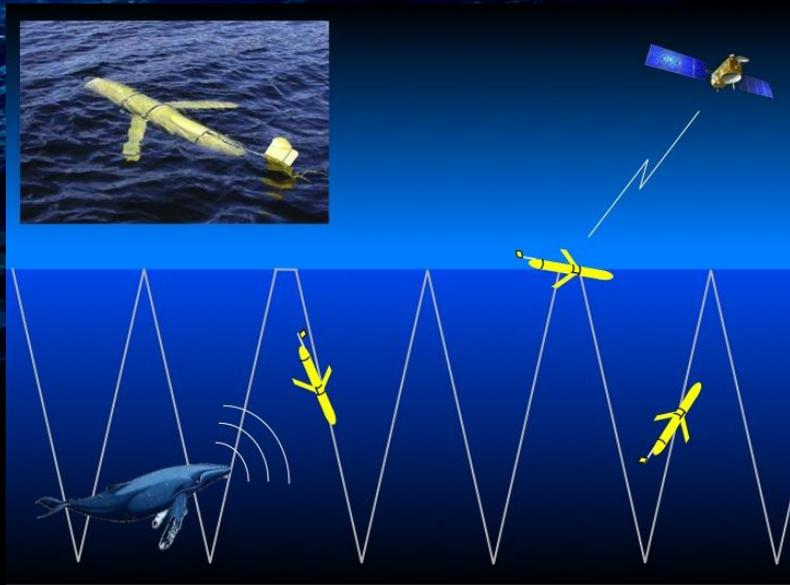
# Ballena azules Chilenas en el Pacifico Suroriental

- 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.who.edu](http://dcs.who.edu)

**Autonomous Real-time Marine Mammal Detections**  
Woods Hole Oceanographic Institution

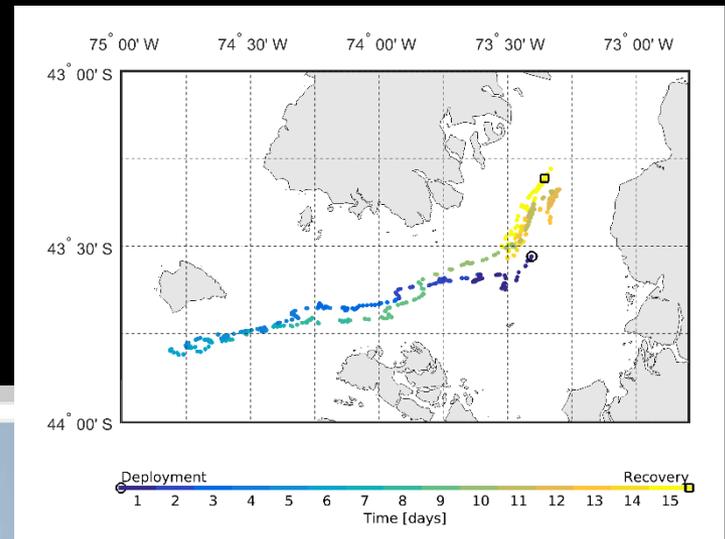
*Chiloé Island, Chile, Fall 2018*

*Study objectives*  
A Slocum G1 glider was deployed south of Chiloé Island, Chile to conduct a near real-time survey for baleen whales.

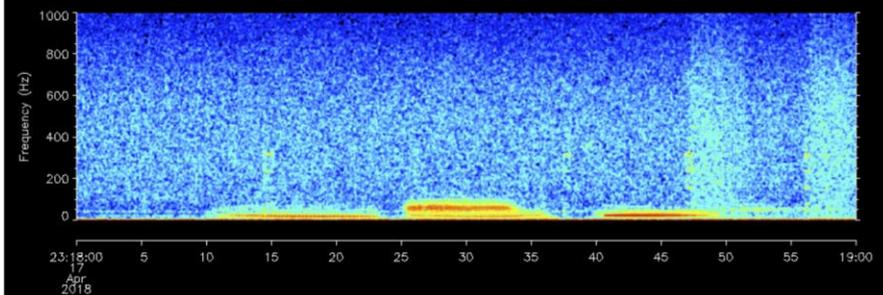
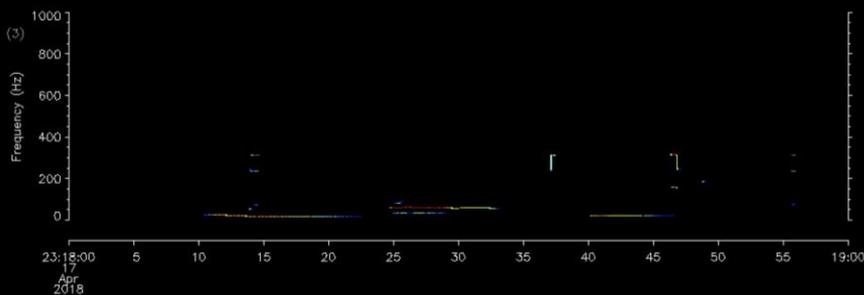
Principal Investigators: Susannah Bachan (University of Concepción), Oscar Pizzaro (University of Concepción), Kate Stafford (University of Washington), and [Mark Baumgartner](#) (Woods Hole Oceanographic Institution).

*Slocum glider gladis*

Platform location:



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

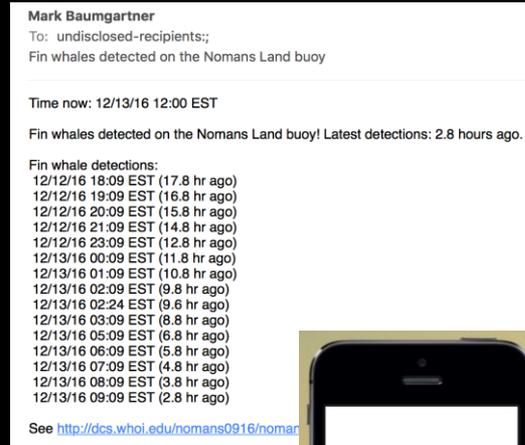
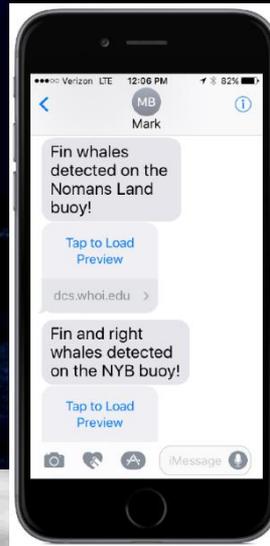
Text message

Email message

dcs.whoi.edu

Daily analyst review:

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



AIS



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?



# 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 scene with a diver silhouette in the upper right corner. The diver is positioned against a bright blue light source, likely the surface, creating a strong silhouette effect. The rest of the image is dark blue, showing the texture of the seabed and some light rays filtering through the water.

**Muchas gracias**