



Eurofleets+

An alliance of European marine research infrastructure
to meet the evolving needs of the research and industrial communities

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement N° 824077

CRUISE REPORT

Calypso

R/V Pelagia, Cruise No. 64pe497,

18 Feb – 12 Mar 2022, Palma – Palma, Spain



Shaun Johnston¹, Noemí Calafat², Benjamin Casas², Eugenio Cutolo³, Robert Daniels⁴, Francesco Falcieri⁵, Trina Litchendorf⁴, Irene Lizarán², Craig McNeil⁴, Ananda Pascual³, Nick Reynard⁶, Andrey Shcherbina⁴, & Joaquín Tintoré^{2,3}

1 *Scripps Institution of Oceanography (SIO), University of California, San Diego*

2 *Balearic Islands Coastal Ocean Observing and Forecasting System (SOCIB)*

3 *Mediterranean Institute for Advanced Studies (IMEDEA), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC),
Universitat de les Illes Balear (UIB)*

4 *Applied Physics Laboratory (APL), University of Washington*

5 *Institute of Marine Science (ISMAR), National Research Council*

6 *Imperial College*

doi: [10.17605/osf.io/en7t4](https://doi.org/10.17605/osf.io/en7t4)

Table of Contents

	Page
1 Summary	3
2 Methods	5
3 Narrative of the Cruise	7
4 Preliminary Results	9
4.1 UCTD	9
4.2 SOLO-II floats	15
4.3 AUV	17
4.4 MLF	20
5 Data availability	22
6 Participants	23
7 Acknowledgements	25

Appendix A Final report of the marine mammal observers

Appendix B Numerical modelling of ADCP sound sources

1 Summary

This is the third cruise for the US Office of Naval Research's Coherent Lagrangian Pathways from the Surface Ocean to Interior (Calypso) project. The program is motivated by the understanding that the vertical movement of water from the surface to depth across the base of the mixed layer has implications for the transport of properties, gases, biogeochemistry, and the fate of drifting particles/objects. However, vertical velocities are weak (about a thousand times smaller than horizontal velocities) and difficult to detect. To represent these motions we need to answer the following questions:

- How are water and properties from the surface boundary layer exported to depth?
- What coherent pathways act as conduits for exchange?
- What dynamics shapes these pathways? What are the Lagrangian trajectories, what are the time and space scales of subduction and where does the water end up?
- Can we predict these pathways in 3-Dimensions and what data are needed to aid or constrain predictive models?

Previous work has established the theoretical basis for predicting coherent Lagrangian structures in the ocean. Confirmation of the predictive theory has only been accomplished in the horizontal dimension and the observational study and confirmation of predictive theories for 3D plus time have not yet been demonstrated.

Calypso aims to:

- Establish an understanding and predictive capability of the three-dimensional coherent pathways by which water carrying tracers and drifting objects is transported from the surface ocean to depths below the mixed layer.
- Design and implement an observational study to test the theories, hypothesis, and predictions of the 3-D, time-evolving Lagrangian pathways.

Due to the need to sample across a range of scales, we have set up this two-ship study with numerous autonomous and Lagrangian platforms. Eurofleets+ helped the observational program succeed via the award of ship time on R/V Pelagia. During the cruise, most of the operations from R/V Pelagia focussed on repeat surveys at a front and a cyclonic eddy to the NE of the front with a variety of ship-based measurements and autonomous platforms (Figure 1.1). Two-ship operations combined repeat small-scale surveys by R/V Pelagia, which were embedded within larger scale surveys by R/V Pourquoi Pas. Drifters were released sporadically to identify eddies and areas of possible convergence at fronts, where subduction may occur.

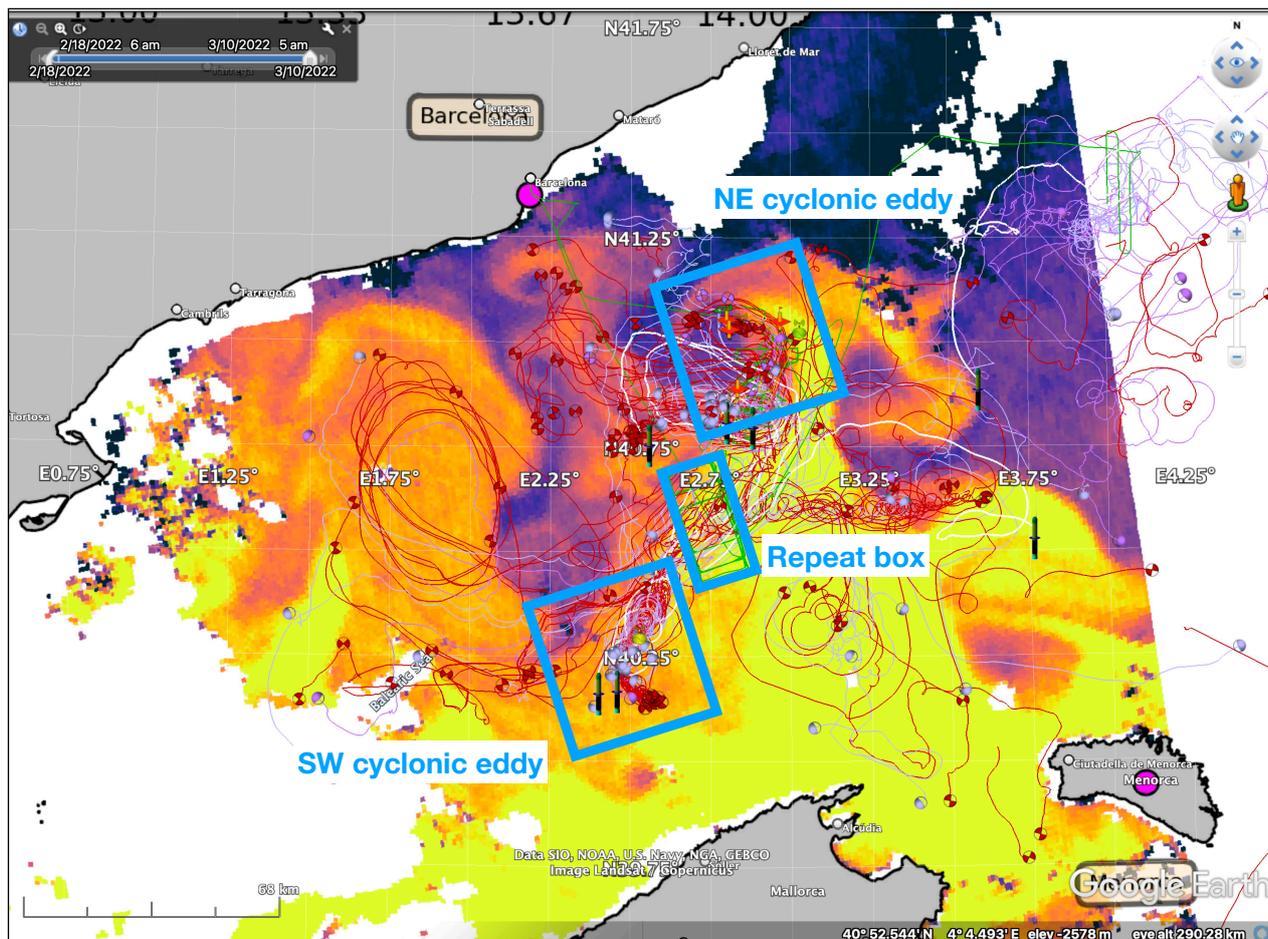


Figure 1.1. Track of all assets (various types of drifters and floats) deployed from R/V Pelagia and R/V Pourquoi Pas in the Balearic Sea on an SST image from Sentinel on 7 Mar 2022. Most operations focussed on the cross-front repeat box (near 2° 45'E, 40° 30'N) and numerous smaller surveys in the cyclonic eddy to the NE of the box (near 3°E, 41°N). Such realtime plotting of asset trajectories, ship-measured currents, and near-surface T and S from the ships' thermosalinographs helped guide adaptive cruise planning. Satellite images (such as the one shown here) and model forecasts also helped guide the at-sea sampling strategy before and during the cruise.

2 Methods

The goal was to observe three-dimensional coherent pathways by which water carrying tracers and drifting objects is transported from the surface ocean to depths below the mixed layer. During this cruise, we started in our northernmost location, which was abandoned after one day due to its exposure to hurricane force winds during a Mistral. Then we focussed on a front with a repeat box survey to resolve inertial motions, which if left unresolved will contribute periodic convergences, which can be confused with the submesoscale and mesoscale dynamics at the front. Lastly, we followed a cyclonic eddy spawned at the front, which then translated to the NE (Figure 1.1). Again repeated surveying across and following the evolving eddy were made.

Observations were obtained with the following instruments/platforms.

1. The Underway CTD (UCTD) obtained profiles of temperature (T) and salinity (S) to 200 m every 4-5 minutes as the ship steamed at 4 kts. The alongtrack resolution was about 500 m. Sampling is at 16 or 32 Hz depending on whether a Seabird or Valeport probe was used. Data were collected for about 1 hour after which it took about 1 hr to download the data. Thus the UCTD information came at a lag of 2 hrs.
2. Shipboard ADCP recorded single pings at 2 s intervals, that were then averaged in 5-minute bins comparable to the UCTD resolution. ADCP was a realtime tool. Two recommendations for improvement are to have (a) a dedicated realtime graphical displays in the lab spaces of ADCP-measured currents as vectors averaged over some suitable depth ranges and a dedicated realtime graphical display of currents in a depth-time plot and (b) a dedicated realtime vector display of the shallowest currents on the bridge.
3. Shipboard TSG was also a real time tool and data were averaged in 2 minute bins for near-surface T and S. The inlet was at 3.6 m depth. One recommendation for improvement is to have a dedicated realtime graphical display of temperature, salinity, and meteorological data.
4. Eight SOLO-II floats were deployed to measure T, S, and chlorophyll fluorescence. Two at the northern eddy and 6 in the repeat box across the front. Of those 6 floats, (a) 2 floats were retained in a submesoscale cyclonic eddy that propagated to the SW that was sampled by Pourquoi Pas, (b) 3 floats were retained in the intensively-sampled NE cyclonic eddy, and (c) 1 float went eastward out of our area.
5. Two autonomous underwater vehicles (AUV) that required almost constant monitoring from the ship during their daytime deployments. The AUVs sampled in the mixed layer at meter-scale resolution and out of the ship wake. They measured currents, T, S, and optical parameters. They communicated acoustically via a small drifting buoy.
6. Four mixed layer floats (MLF) that are programmed to follow isopycnals. Thus, if an isopycnal subducts these floats will follow those water parcels on their 3D paths. These floats are also equipped with ADCPs and ancillary instruments. A transducer was mounted on an over-the-side pole to track the MLF position from the ship. Two MLF were equipped with acoustic communications.

The AUV and MLF acoustic communications had levels above 160 dB, which led to a requirement from the Spanish government of embarking 2 marine mammal observers (MMO) and 1 passive acoustic monitoring (PAM) operator along with a suitable hydrophone streamer. Due to the ~1 month notice of these requirements Ananda Pascual (IMEDEA), Carla Chicote (SUBMON), and Johnston (SIO) were presented with considerable work on a tight timeline. We worked with the relevant ministry (SG de Biodiversidad Terrestre y Marina, DG de Biodiversidad, Bosques y Desertificación, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico) to implement the monitoring plan. The rationale, details, and results of the monitoring are included in a separate report from SUBMON to the ministry (Appendix A).

Also ADCPs are above the sound threshold. Emily Shroyer (ONR) provided insight and relevant documents on US regulations affecting acoustics from ADCPs, which through the application of *de minimis* have been specifically disregarded. To demonstrate the minimal impact of the ship's ADCP, we commissioned a report on its sound characteristics based on expected operating conditions and location in the Balearic Sea (Appendix B).

A summary of how the monitoring affected ship operations is below.

This monitoring program required a reduction in the science party size to 9 people from 12, which had a large impact on the work to be performed and the scientists available to stand watches. The originally-planned microstructure work and our Italian colleagues had to be moved to the Pourquoi Pas.

The tasks of the MMO and PAM were to (a) observe visually and acoustically for cetaceans and turtles and (b) implement mitigation plans if the animals entered into the exclusion zone of 250 m. The exclusion zone was calculated based on numerical modelling by SUBMON (the contractor for the MMO and PAM) of sound propagation from the vessel-mounted ADCP (Appendix B). During AUV and MLF acoustic operations, MMO and PAM were needed. This streamer is 250 m long and precluded concurrent UCTD operation.

However, both the air shipment of (a) AUV and MLF equipment from the USA and (b) the PAM hydrophones from the UK encountered shipping delays. The AUV/MLF shipment was lost during air shipping. The PAM equipment was stopped at Spanish customs because of incorrect paperwork prepared by the shipper. Once the AUV/MLF equipment reached Barcelona, the ship entered port, loaded the gear, disembarked the PAM operator, and embarked a new member of the science party to stand UCTD watches. Permission was obtained in a quick response from the ministry to operate the AUV and MLF acoustics without the PAM equipment, that we had made every effort to obtain on short notice.

Also the over-the-side pole was damaged and then recovered shortly after deployment. Subsequent acoustics communications with the MLF were made by lowering the transducer over the side with lines, when the ship was stopped for AUV operations.

In the end, the MMO visually monitored a radius of 250 m as the exclusion zone around 2 distinct acoustic systems: (a) the ship with its ADCP and occasional acoustic communications and (b) the AUV system comprising 1-2 AUVs plus their communications buoy. Further details of (a) the marine mammal observing are in Appendix A and (b) the numerical modelling of ADCP sound sources are in Appendix B. These reports were prepared by SUBMON.

3 Narrative of the Cruise

There were 4 main focus areas for work on the Pelagia: (a) the 1-day front survey in the NE corner of the operations area, (b) the repeated box survey across the front, (c) multiple smaller-scale surveys across the cyclonic feature to the NE of the box, and (d) a 40 nm line with 2 ships across the operations area to calculate potential vorticity at 1 nm scales.

Feb 18 - 19	loading
Feb 20	depart Palma
Feb 21	abandon ship drill practice UCTD deployment arrive N area, join Pourquoi Pas, science operations begin deploy 2 SOLO-II floats depart N area due to weather
Feb 22	calibration line for UCTD and ADCP with Pourquoi Pas arrive at repeat box repeat box to resolve inertial motions of front
Feb 23	deploy 1 SOLO-II float on dense side of front
Feb 25	deploy 5 SOLO-II floats on cross-front line
Feb 26	pause UCTD for 7 hrs due to ~2.5 m waves
Mar 1	stop repeat box and depart for Barcelona
Mar 2	arrive Barcelona pick up delayed AUV and MLF shipment, disembark PAM operator embark replacement scientist depart Barcelona
Mar 3	UCTD survey to find spot for AUV and MLF in NE eddy deploy 2 MLF deploy / recover over-the-side pole due to damage to the pole
Mar 4	UCTD hashtag survey at NE eddy AUV survey
Mar 5	UCTD butterfly survey at NE eddy
Mar 6	UCTD butterfly survey at NE eddy deploy 2 MLF

Mar 7	AUV survey at NE eddy UCTD butterfly survey
Mar 8	AUV survey at NE eddy 30-minute shut down of AUV and ADCP due to whale sighting UCTD zonal survey lines
Mar 9	AUV survey at NE eddy parallel lines to assess vorticity with 2 ships at 1 nm separation at NE eddy
Mar 10	Pourquoi Pas departs recover 4 MLF UCTD at NE eddy
Mar 11	concurrent UCTD + AUV at NE eddy science operations end
Mar 12	arrive Palma

4 Preliminary Results

4.1 UCTD

Over 2500 profiles were obtained during UCTD operations. Some example sections across the front in the repeated box are shown below (Figure 4.1.1). The box was shifted to center the maximum horizontal density gradient- i.e., the front. A cold filament is found at 100 m, which likely had its origin at the surface and was subducted along a 3D pathway- a combination of horizontal and vertical velocity. While R/V Pelagia repeated the box, R/V Pourquoi Pas conducted larger scale surveys. By combining these datasets, we hope to obtain a more complete picture of the 3D pathways at a front and to follow its evolution in space and time.

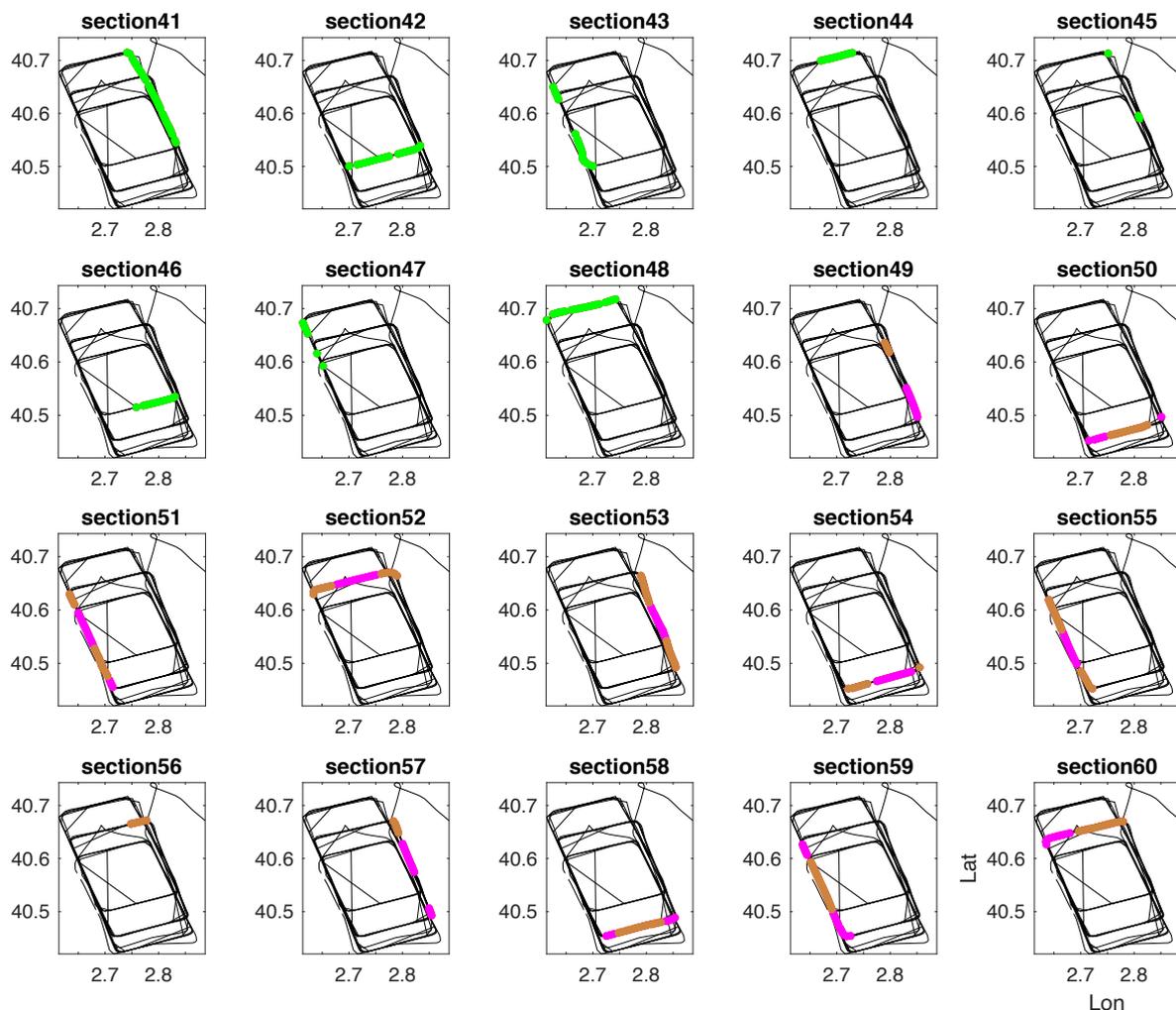


Figure 4.1.1. Location of sections during the repeated box survey. All of the ship tracks are indicated in black with coloured dots indicating each individual profile. Different colours correspond to different probes. The crossfront direction is positive towards roughly NNW.

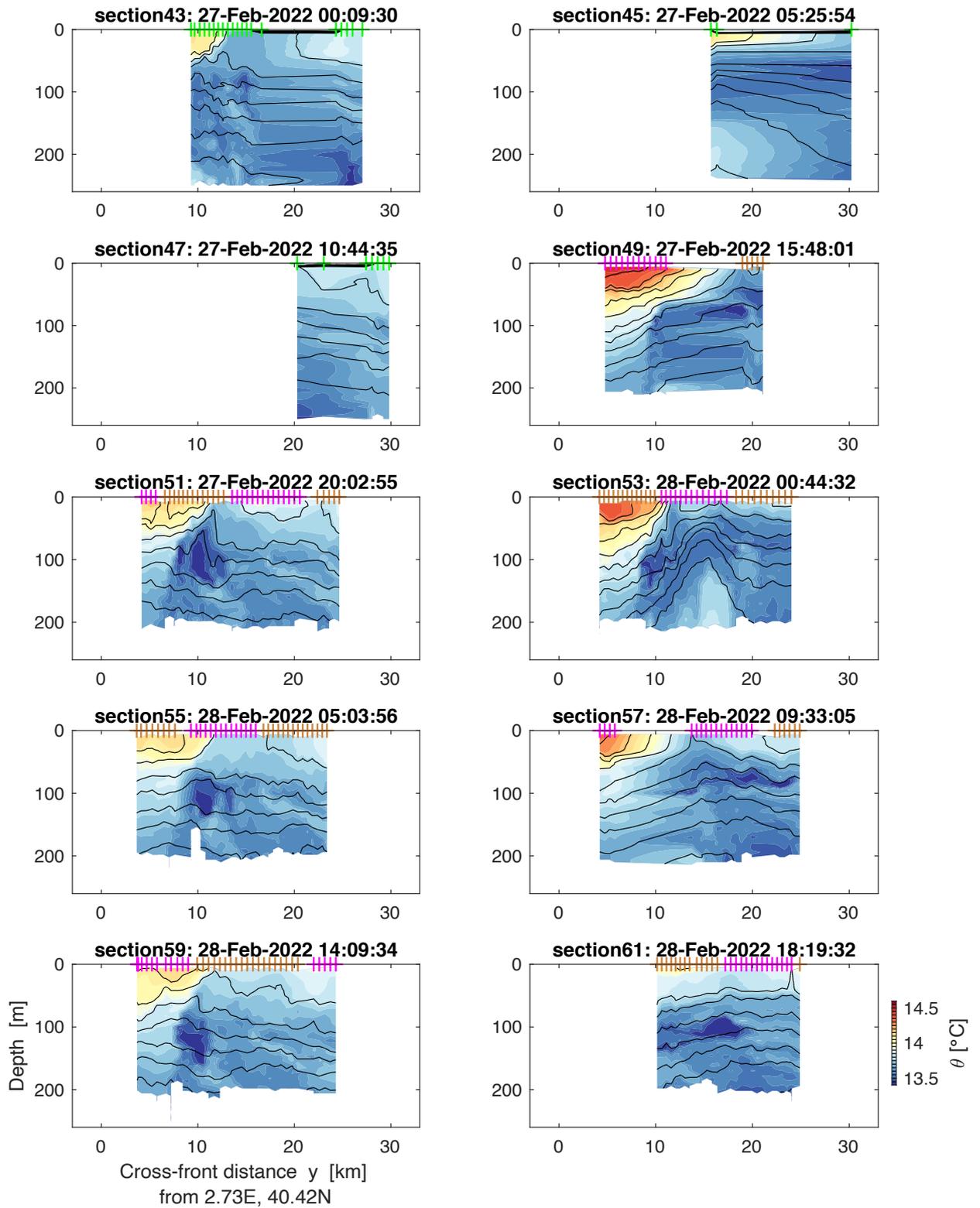


Figure 4.1.2. Potential temperature from several crossfront sections during the repeated box survey. Hash marks on the top axis indicate profiles. Contours are potential density. The location of each section is given in Figure 4.1.1. The crossfront direction is positive towards roughly NNW.

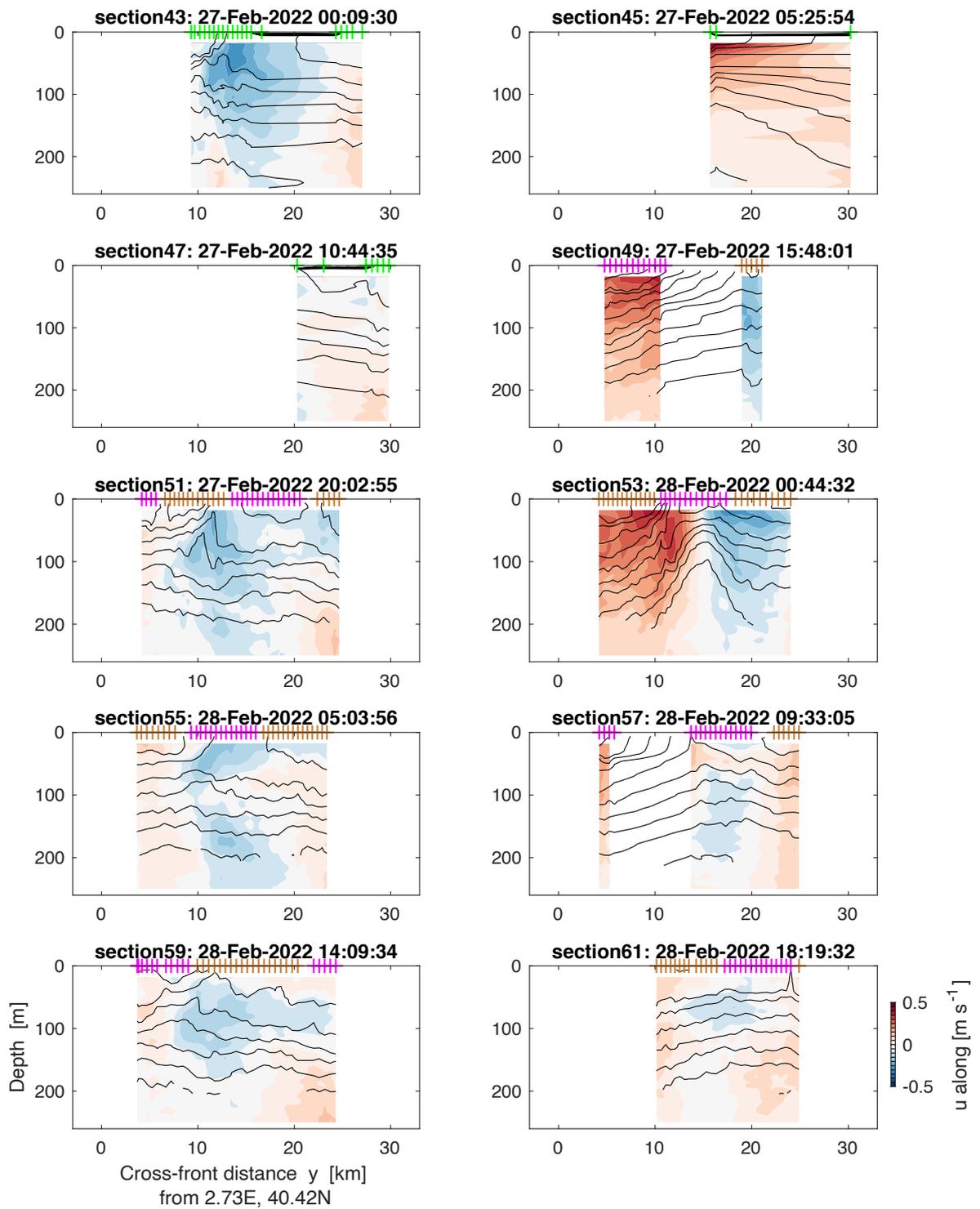


Figure 4.1.3. Alongfront velocity from several crossfront sections during the repeated box survey. Hash marks on the top axis indicate profiles. Contours are potential density. The location of each section is given in Figure 4.1.1. The crossfront direction is positive towards roughly NNW.

At the NE cyclonic eddy, Pelagia repeatedly made small-scale surveys, while Pourquoi Pas made larger-scale surveys and deployed surface drifters which helped identify features to sample (Figure 1.1). Some example zonal sections are plotted below.

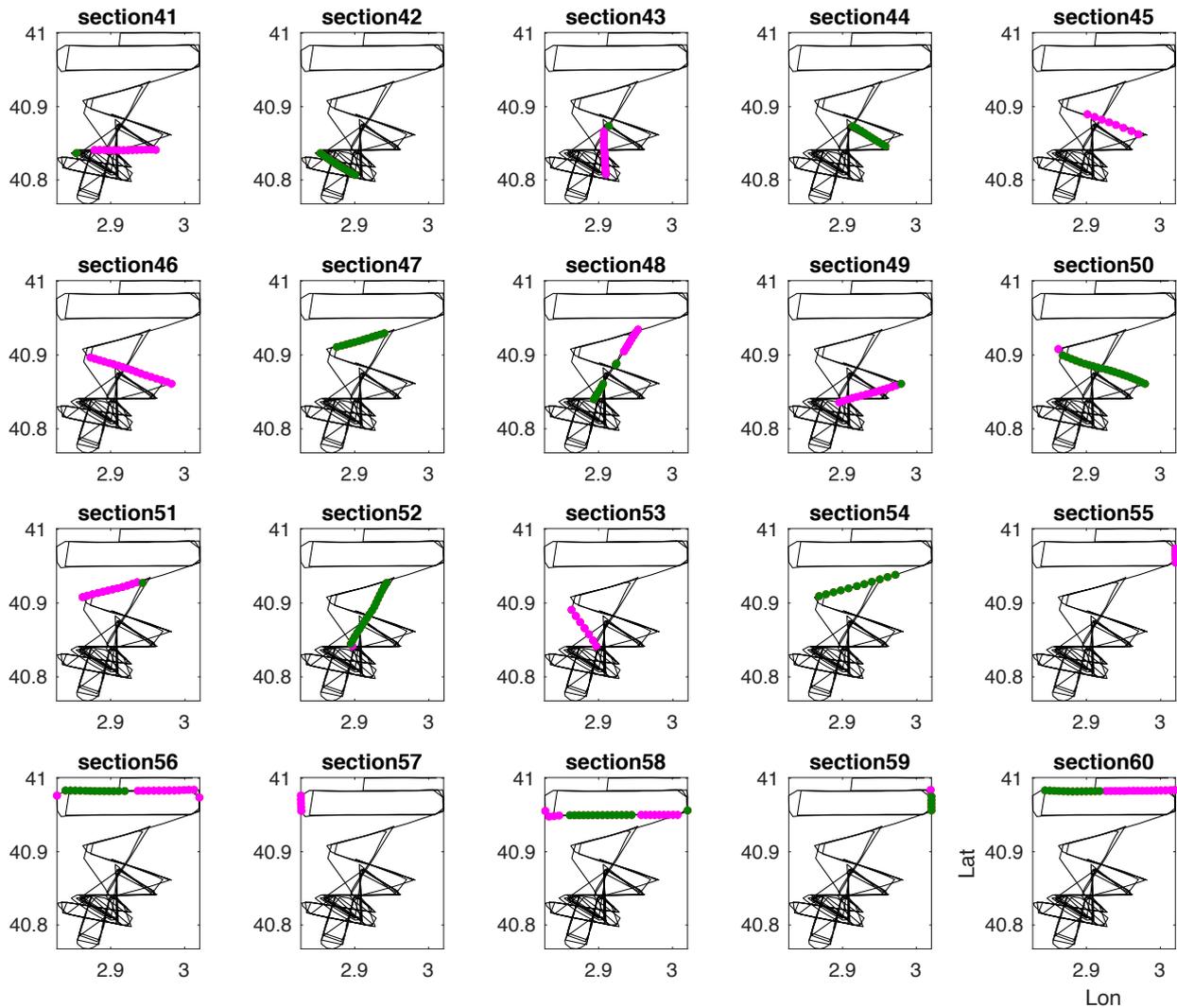


Figure 4.1.4. Location of sections during the NE eddy survey. All of the ship tracks are indicated in black with coloured dots indicating each individual profile. Different colours correspond to different probes.

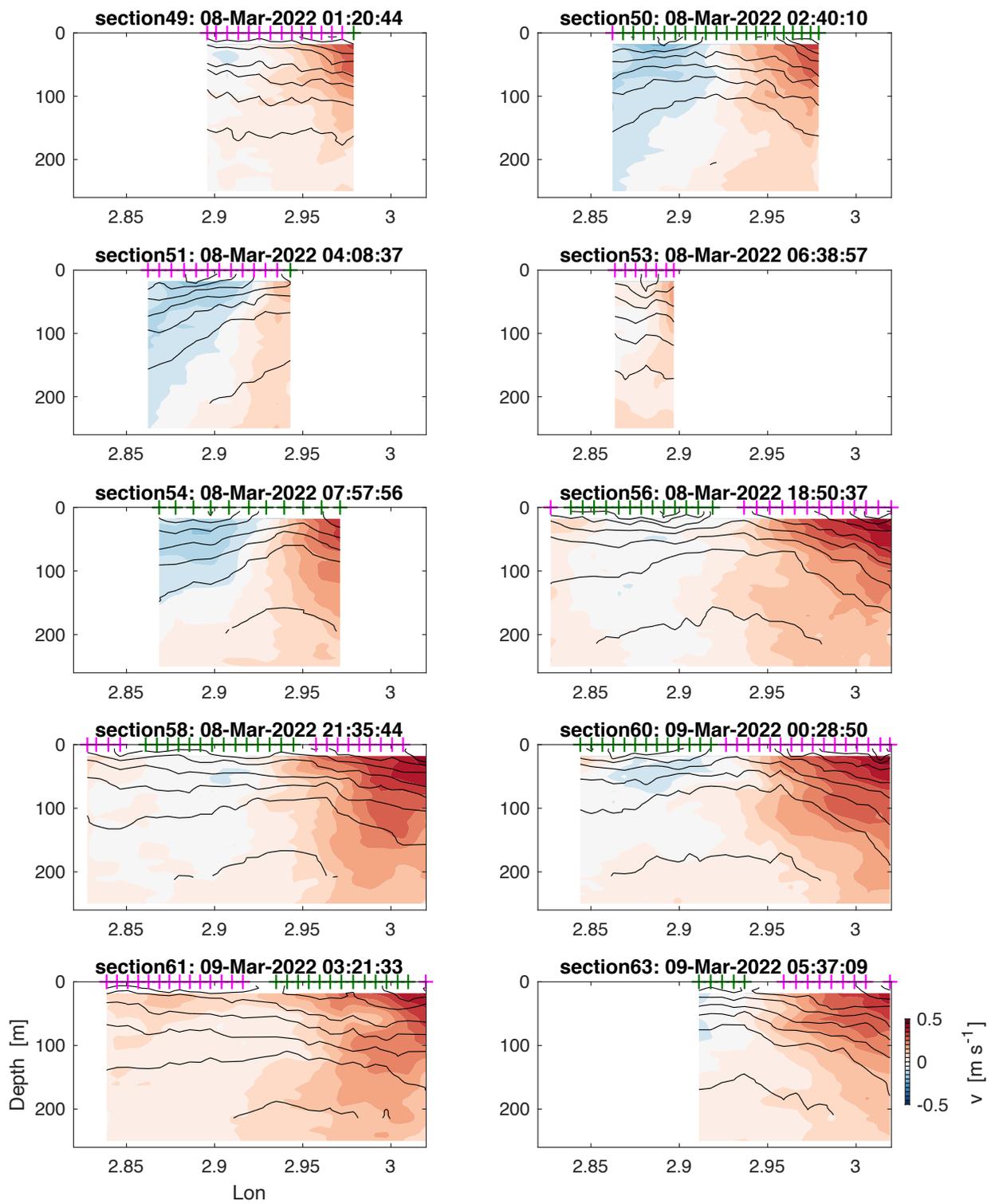


Figure 4.1.5. Northward velocity from several zonal (or approximately zonal) sections during the NE eddy survey. Hash marks on the top axis indicate profiles. Contours are potential density. The location of each section is given in Figure 4.1.4.

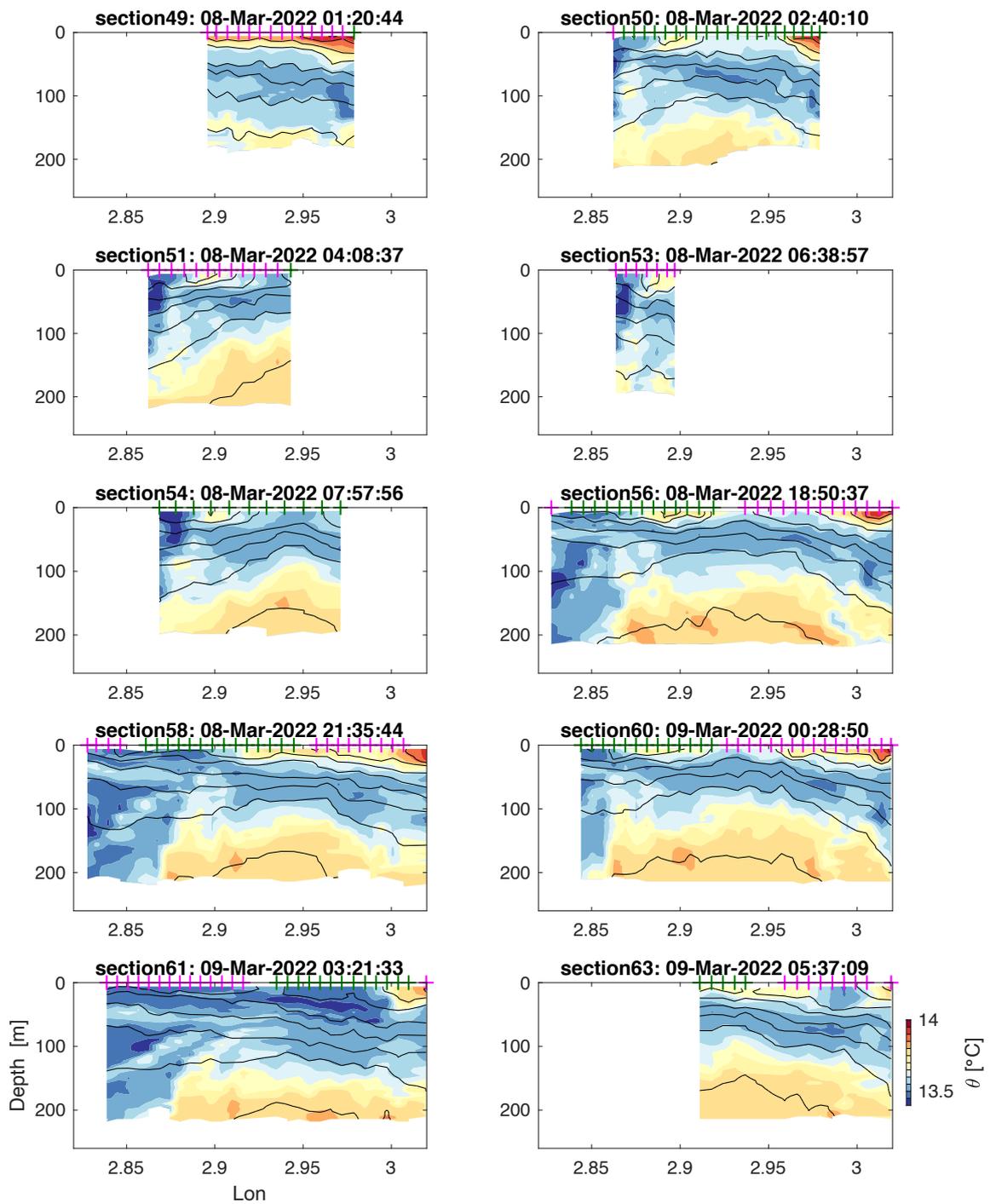


Figure 4.1.6. Northward velocity from several zonal (or approximately zonal) sections during the NE eddy survey. Hash marks on the top axis indicate profiles. Contours are potential density. The location of each section is given in Figure 4.1.4.

4.2 SOLO-II floats

To date the array of 8 floats have obtained more than 3300 hourly profiles to 250 m of T and S. The floats will last for about 1 more month after the cruise, which will roughly double the number of profiles from the array. The trajectories show floats within the SW and NE cyclonic eddies, which are of particular interest (Figure 4.4.1). The 3 floats farther east were subject to periodic Mistral wind events, while the western floats were also subject to wind events, but of lesser magnitude. Time series harmonic analysis techniques can be applied to the float data to resolve and separate inertial and tidal motions from the submesoscale and mesoscale features of interest. One such prominent feature is the downwelling of the subsurface chlorophyll maximum to over 100 m in the SW cyclonic eddy seen on about 26 Feb (Figures 4.2.2 and 4.2.3). This feature is associated with a warm anomaly following isopycnals (Figure 4.2.2). Density affects flow dynamics, but T variability on isopycnals acts as a passive tracer in the absence of mixing. These results are suggestive of downwelling, but require more detailed investigation from the comprehensive Calypso dataset.

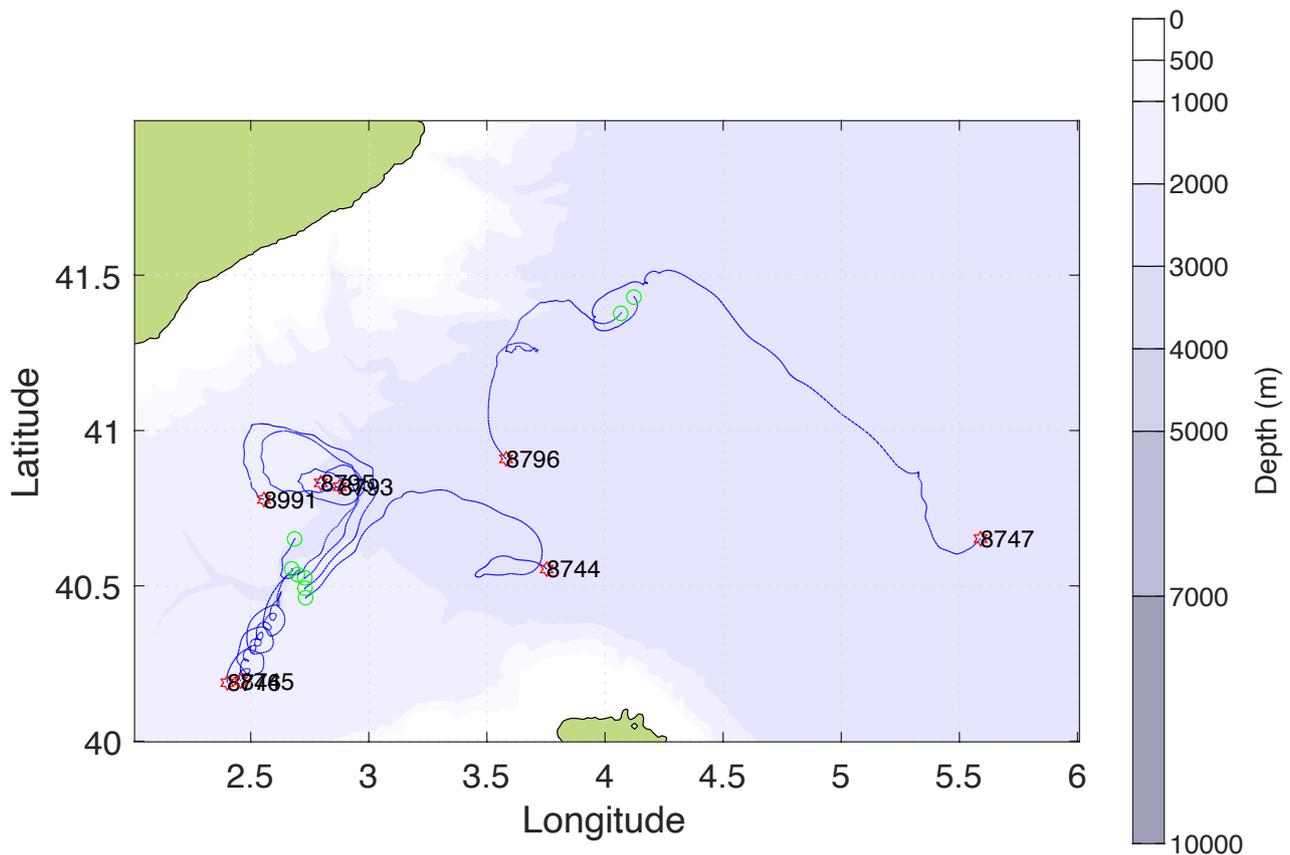


Figure 4.2.1. The trajectories of the 8 SOLO-II floats released in the Balearic Sea are shown in blue. Green circles/red stars indicate the start/end points. The serial number of each float is provided at its end point. The floats will continue to profile for about 1 month after the cruise.

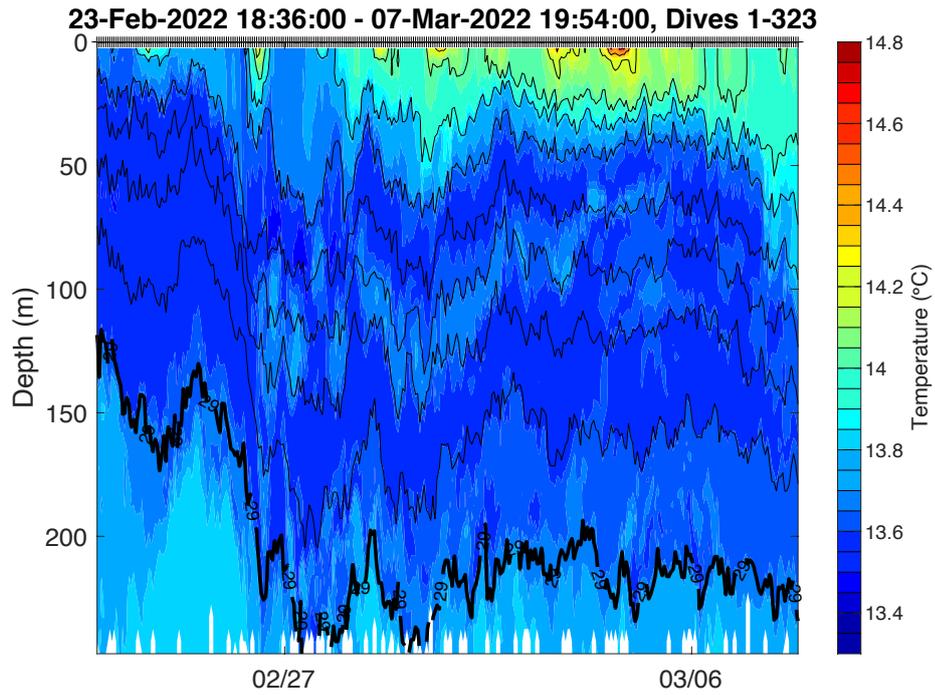


Figure 4.2.2. Temperature from sn8746 in the SW eddy. Hash marks on the top axis indicate profiles. Contours are potential density.

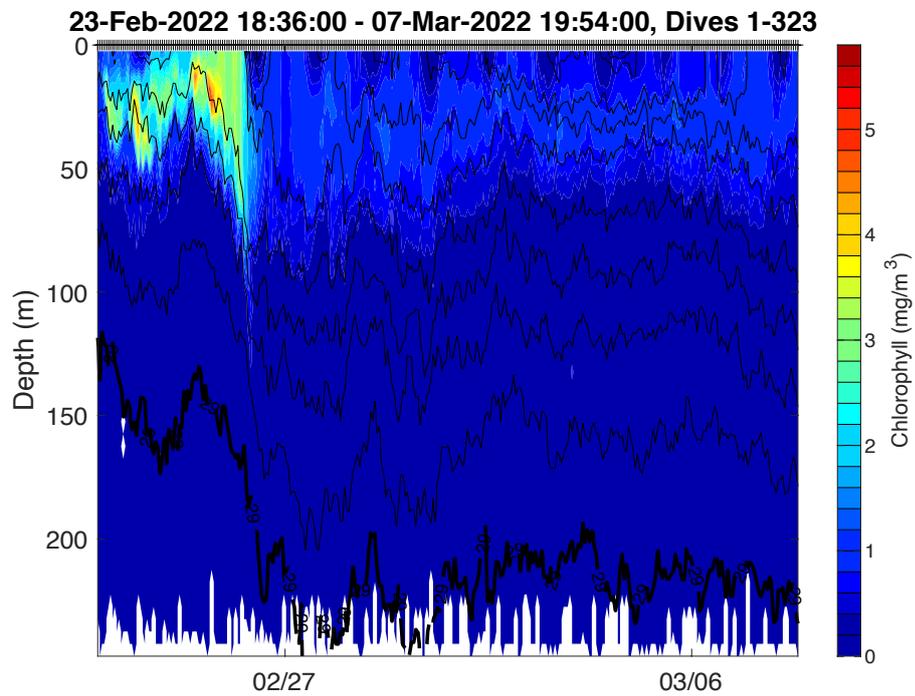


Figure 4.2.3. Chlorophyll fluorescence from sn8746 in the SW eddy. Hash marks on the top axis indicate profiles. Contours are potential density.

4.3 Autonomous Underwater Vehicles

During the CALYPSO 2022 cruise aboard R/V *Pelagia*, APL team operated two REMUS100 Autonomous Underwater Vehicles (AUV) to map the sub-kilometer structure of temperature, salinity, 3D velocity, and natural passive tracer distributions associated with various submesoscale frontal features.

The two AUVs were instrumented as follows:

1365	1519
Seabird SBE49 CTD YSI CTD 2x ECO Puck triplets (optical backscatter, Chl-a, pigments) Aanreraa optode 2x RDI 1MHz ADCPs	Seabird SBE49 CTD YSI CTD ECO Puck triplet (optical backscatter, Chl-a) Aanreraa optode RDI 300kHz ADCP 2x Nortek Signature1000 ADCPs

Equipment delivery was delayed until March 2nd. Operations started with an acoustic range test on March 3rd, and the first science mission on March 4th. Over the course of 5 operating days, a total of 10 missions were run, covering the track length of about 250 km:

Mission #	AUV	Date	Approx. location	Start (UTC)	End (UTC)	Duration (h)	Depth (m)	Mission type
218	1519	2022 03 04	40°50.358'N, 2°52.846'E	09:35:27	12:49:26	03:13	25	Section
219	1365	2022 03 04	40°50.416'N, 2°52.786'E	10:42:27	13:18:26	02:35	1–50	Section
220	1519	2022 03 07	40°52.920'N, 2°55.167'E	08:20:52	10:29:58	02:09	25	Drifting
221	1365	2022 03 07	40°52.932'N, 2°55.176'E	08:36:57	13:08:13	04:31	1–50	Drifting
222	1519	2022 03 08	40°57.378'N, 2°55.516'E	11:07:30	15:12:15	04:04	15	Drifting
223	1365	2022 03 08	40°57.262'N, 2°54.849'E	10:13:28	14:38:31	04:25	1–50	Drifting
224	1519	2022 03 09	41°00.831'N, 2°56.005'E	11:08:13	17:05:53	05:57	15	Grid
225	1365	2022 03 09	41°00.783'N, 2°55.609'E	11:40:32	16:00:57	04:20	1–50	Grid
226	1519	2022 03 11	40°54.218'N 2°34.468'E	07:41:24	12:09:47	04:28	15	Section
227	1365	2022 03 11	40°54.273'N 2°34.475'E	07:30:05	11:56:34	04:26	1–50	Section

The AUVs were deployed and recovered from *R/V Pelagia*; small-boat assistance was necessary for the AUV recoveries during the first two operating days. On most days, the AUV operations were supported by deployment of the Gateway buoy that relayed acoustic AUV telemetry to *Pelagia*. The AUVs were also tracked acoustically directly from *R/V Pelagia* using an over-the-side acoustic ranger.

The AUV operations typically lasted 4–8 hours and required dedicated use of *Pelagia* during this time. These periods were also opportunistically used for acoustic tracking of Lagrangian Floats that could not be conducted underway due to the over-the-side pole malfunction. AUV operations on March 11 were conducted concurrently with UCTD surveying.

In all missions, both AUVs were run simultaneously on parallel offset tracks. AUV #1365 followed an undulating path through the water column (from 1 to 50 m depth), while #1519 navigated at a constant depth near the base of the mixed layer (15–25m). This combination allowed for optimal sampling of both the horizontal and the vertical small-scale structure of the upper ocean.

Several frontal features were explored with the AUVs during the cruise: March 4 survey targeted the periphery of a small cyclonic eddy also explored with the “hashtag” UCTD survey and drifter deployments. Following a weather break, March 7–8 surveys followed the evolution of secondary small-scale (<5 km) eddies embedded in the NE cyclonic eddy frontal zone. These surveys were conducted in a drifting (Lagrangian) frame of reference, with the AUVs autonomously navigating square patterns centered on the drifting Gateway buoy (Figure 4.3.1). March 9 grid survey targeted a flow confluence zone (aka “zipper”) in the recirculation zone inside the NE cyclonic eddy (Fig. 4.3.2). March 11 survey investigated the sharp front in the south-western quadrant of the cyclonic eddy.



Figure 4.3.1. An example of a dual-AUV survey in a drifting (Lagrangian) frame of reference. The tracks of two AUVs (Missions 222/223) are shown in yellow/orange. The vehicles navigated square patterns centered on the drifting Gateway buoy, which track is shown in purple. Several drifters (green, red) mapped the flow in the vicinity of the survey.

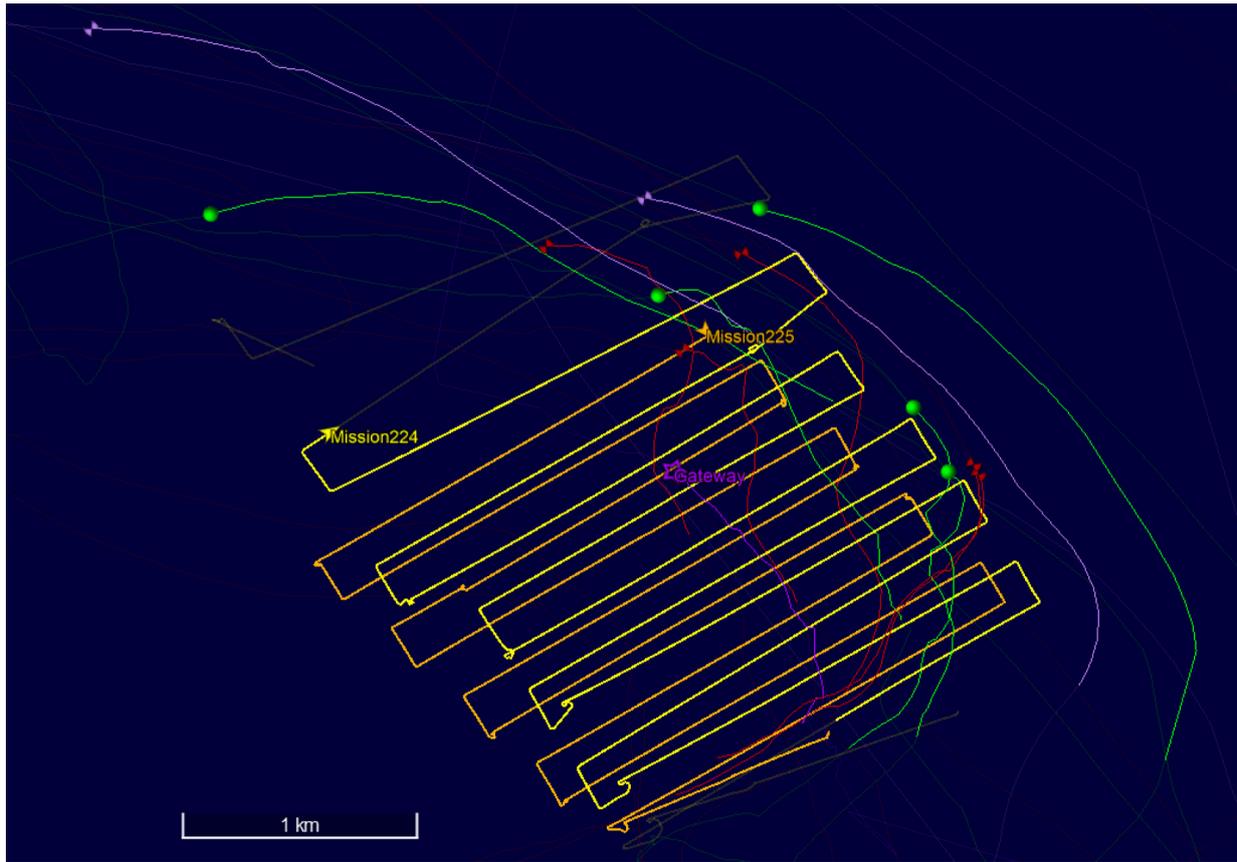


Figure 4.3.2. An example of a dual-AUV grid survey of confluent flow. The tracks of two AUVs (Missions 224/225) are shown in yellow/orange. Several drifters (green, red, purple) mapped the confluent flow in the vicinity of the survey.

4.4 Mixed layer Lagrangian floats

During the CALYPSO 2022 cruise aboard *R/V Pelagia*, APL team operated four Mixed Layer Lagrangian floats (MLFs). Our primary goal was to measure the three-dimensional Lagrangian trajectories of water parcels originating in the mixed layer and subducting at submesoscale fronts (Figures 4.4.1 and 4.4.2).

Lagrangian Floats measure temperature and salinity at the top and bottom (1.4 m apart) and pressure at the top and center of the float. In addition, each CALYPSO MLF carried a Nortek 1000, 1 MHz, 5 beam ADCP mounted on the side of the float and pointing upward. These measured 3 components of velocity using broadband pulses at 1 m resolution to about 20 m range and pulse-coherent pulses at 5 cm resolution to 6 m range. Additionally, two of the floats (#88 and 89) measured chlorophyll fluorescence and optical backscatter. The same two floats (#88 and 89) were also designed to be acoustically tracked from *Pelagia*, using a Trackpoint II system mounted on an over-the-side pole. However, the pole broke on the first deployment and the tracking could not be conducted as planned. Limited tracking with the ship stopped for AUV operations was still possible.

Equipment delivery was delayed until March 2nd. Operations started March 4th and continued until March 10th, giving us only 6 days of float operations. This limited time, combined with significant operational problems and the other duties of D'Asaro and Shcherbina resulted in much more limited results than we had hoped for.

The MLFs were deployed in the NE cyclonic eddy in coordination with surface drifter releases and shipboard surveys. The float missions were designed to measure subduction from the surface layer. Floats 81 and 82 were initially clearly too light. They were recovered, correct ballast weights were added, and the floats were redeployed. On March 8, after a few days of operations, it became apparent that none of the four floats behaved in a sufficiently Lagrangian manner to measure accurate 3D Lagrangian trajectories. With less than 2 days left, the floats were therefore reprogrammed with the goal of diagnosing the problem. This was successful in eliminating several possible causes. Further work will be required to diagnose the true problem.

Float deployment and recovery dates and positions (all times are UTC):

MLF	Deployment	Recovery
88	3/04/2022 08:34, 40° 47.384' N, 2° 46.264' E	3/10/2022 09:11, 40° 56.367' N, 2° 49.402' E
89	3/04/2022 08:54, 40° 48.579' N, 2° 47.134' E	3/10/2022 12:34, 41° 06.196' N, 2° 50.944' E
81	3/04/2022 20:00, 40° 49.500' N, 2° 53.274' E	3/06/2022 07:09, 40° 51.804' N, 2° 54.376' E
82	3/04/2022 20:03, 40° 49.436' N, 2° 54.039' E	3/06/2022 13:42, 40° 50.343' N, 2° 52.458' E
81	3/06/2022 16:43, 40° 51.120' N, 2° 56.580' E	3/10/2022 11:09, 41° 03.967' N, 2° 48.289' E
82	3/06/2022 17:00, 40° 51.180' N, 2° 57.160' E	3/10/2022 10:56, 41° 03.666' N, 2° 46.717' E

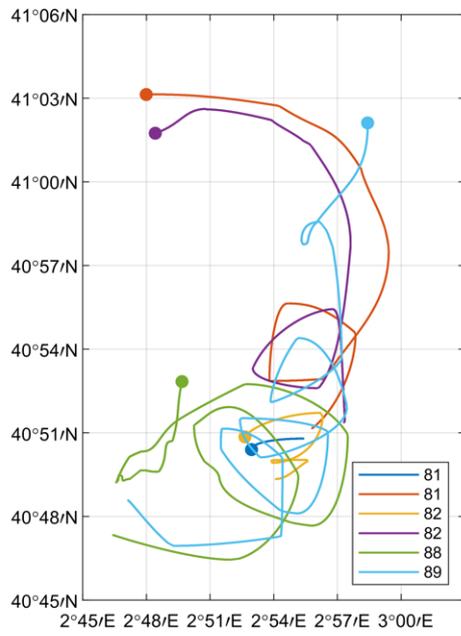


Figure 4.4.1 Approximate trajectories of the MLFs during the 6 CALYPSO 2022 deployments. The open/ filled circles indicate the deployment & recovery locations.

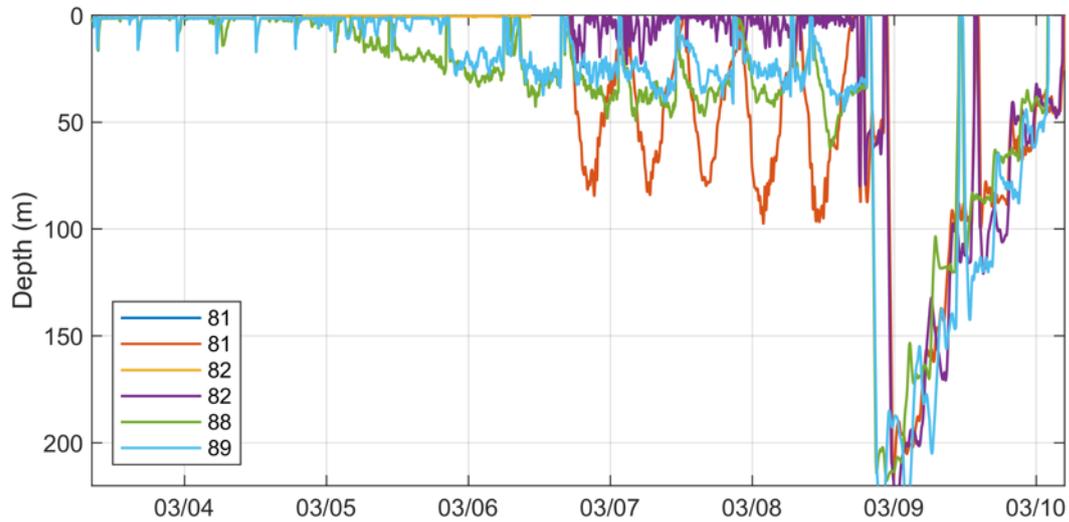


Figure 4.4.2 Depth excursions of the MLFs during the 6 CALYPSO 2022 deployments.

5 Data Availability

Data were shared with all project participants on both ships and ashore via a shared drive on Google Drive. Shore-based participants placed satellite and model data on the shared drive to help with the planning of the seagoing work. Data will be quality controlled and archived according to Eurofleets rules. Data will be freely available after the two-year embargo via a national data centre and via the project website, all of which is/will be done according to Eurofleets rules.

6 Participants

No.	Name	Early career (Y/N)	Gender	Affiliation	On-board tasks
1	Shaun Johnston*	n	m	SIO	chief scientist
2	Benjamin Casas	n	m	IMEDEA	UCTD, technician
3	Eugenio Cutolo	y	m	IMEDEA	UCTD, PhD student
4	Noemí Calafat	y	f	SOCIB	UCTD, technician
5	Irene Lizarán	n	f	SOCIB	UCTD, technician
6	Nick Reynard	y	m	IC	UCTD, PhD student
7	Orestes Hidalgo	n	m	SUBMON	MMO
8	Ana Orts	n	f	SUBMON	MMO
9	Antonio Portalo	n	m	SUBMON	PAM operator
10	Trina Litchendorf	n	f	APL	AUV, engineer
11	Craig McNeil	n	m	APL	AUV, scientist
12	Andrey Shcherbina	n	m	APL	AUV, scientist
13	Robert Daniels	n	m	APL	MLF, engineer

IC	Imperial College
IMEDEA	Mediterranean Institute for Advanced Studies, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Universitat de les Illes Balears (UIB)
ISMAR	Institute of Marine Sciences of the National Research Council of Italy
MIT	Massachusetts Institute of Technology
SIO	Scripps Institution of Oceanography, University of California San Diego
SOCIB	Balearic Islands Coastal Ocean Observing and Forecasting System
SUBMON	contractor for MMO and PAM
UD	University of Delaware
APL	Applied Physics Laboratory, University of Washington
WHOI	Woods Hole Oceanographic Institution
*	funded by Eurofleets+

Remote participants

No.	Name	Early career (Y/N)	Gender	Affiliation	Tasks
1	Pierre Lermusiaux	n	m	MIT	real time numerical modelling
2	Patrick Haley	n	m	MIT	real time numerical modelling
3	Baptiste Mourre	n	m	SOCIB	real time numerical modelling
4	Helga Huntley	n	f	UD	real time data from autonomous platforms
5	Daniel Tarry	y	m	IMEDEA	real time satellite data
6	Simon Ruíz	n	m	IMEDEA	real time satellite data
7	Ananda Pascual*	n	f	IMEDEA	co-investigator on Eurofleets proposal
8	Francesco Falcieri*	n	m	ISMAR	co-investigator on Eurofleets proposal, microstructure on Pourquoi Pas
8	Joaquín Tintoré	n	m	SOCIB/ IMEDEA	underwater gliders
9	Eric D'Asaro	n	m	APL	chief scientist, Pourquoi Pas
10	Amala Mahadevan	n	f	WHOI	chief scientist, Pourquoi Pas
11	Dan Rudnick	n	m	SIO	underwater gliders, SOLO-II floats
12	Leo Middleton	y	m	WHOI	data management, Pourquoi Pas

7 Acknowledgements

We are grateful to the master and crew of R/V Pelagia for their able and cheerful assistance in achieving all of our science objectives. The marine mammal observers worked conscientiously with the rest of the science party to carry out their monitoring program in accordance with the Spanish regulations. Permission to operate in Spanish waters was provided by Subdirección General de Biodiversidad Terrestre y Marina, Dirección General de Biodiversidad, Bosques y Desertificación, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. We thank Eurofleets+ and the US Office of Naval Research for funding this work and providing time on Pelagia. It is worth emphasizing, that this partnership was vital to Calypso's success by providing two ships to obtain sufficiently broad spatial coverage of the mesoscale combined with sufficiently fine spatial resolution to observe submesoscale features at scales <10 km. Pelagia made smaller-scale measurements within the wider-ranging surveys by Pourquoi Pas.

Appendix A

Informe final observadores de mamíferos marinos

Buque oceanográfico “Pelagia”

PROYECTO CALYPSO

ESPAÑA – 19 FEBRERO A 12 MARZO 2022 N/REF: CO/21/29.



© NIOZ



C/ d'Ortigosa, 14, 1r 3a

08003, Barcelona

Teléfono: 932 135 849

info@submon.org - <https://www.submon.org/es/inicio/>



OBSERVADORES DE MAMÍFEROS MARINOS:

18 febrero a 02 marzo 2022 → Antonio Portalo Mesa

18 febrero a 12 marzo 2022 → Orestes Hidalgo Huertas

Ana Orts Pérez

COORDINADORA: Carla A. Chicote



Índice

<u>SUMARIO.....</u>	<u>6</u>
<u>1. INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>7</u>
1.1. Objetivos científicos	7
1.2. Mamíferos marinos	8
1.3. Tortugas Marinas.....	9
1.4. Zona de estudio	10
1.5. Actividad local	11
<u>2. INFORMACIÓN TÉCNICA DE LA EMBARCACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y EQUIPOS</u>	<u>11</u>
2.1 Embarcación Pelagia.....	12
2.2 Equipos utilizados.....	13
2.2.1 uCTD (underwater UCTD).....	13
2.2.2 ACDP (Acoustic Doppler Current Profiler).....	13
2.2.3 Flotador Lagrangiano	14
2.2.4 Flotadores Argo	14
2.2.5 AUV (Autonomous underwater vehicle).....	15
2.3 Fuentes de energía (emisor de onda acústica)	16
<u>3. MÉTODOS Y OBSERVACIONES.....</u>	<u>18</u>
<u>3.1 CONSIDERACIONES GENERALES.....</u>	<u>18</u>
<u>3.2 PROTOCOLO DE MITIGACIÓN</u>	<u>18</u>
3.2.1 Zona de exclusión	19
<u>3.3 MÉTODOS DE TRABAJO PARA LA DETECCIÓN DE MAMÍFEROS MARINOS.....</u>	<u>20</u>
<u>3.4 DISTRIBUCIÓN DE LOS AVISTAMIENTOS DE MAMÍFEROS MARINOS.....</u>	<u>21</u>
<u>3.5 ESFUERZO VISUAL</u>	<u>21</u>
<u>3.6 CONDICIONES CLIMÁTICAS.....</u>	<u>22</u>
3.6.1 Dirección y fuerza del viento.....	23
3.6.2 Estado del mar.....	24
3.6.3 Mar de fondo.....	25
3.6.4 Intensidad del brillo.	25
3.6.5 Visibilidad en millas náuticas.....	26



3.6.6	Condiciones generales de avistabilidad	26
4.	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>27</u>
5.	<u>AGRADECIMIENTOS.....</u>	<u>27</u>
6.	<u>BIBLIOGRAFÍA.....</u>	<u>28</u>
	<u>ANEXO I</u>	<u>30</u>
	<u>ANEXO II</u>	<u>31</u>
	<u>ANEXO III</u>	<u>32</u>

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1.	Mapa de operaciones.....	10
Ilustración 2.	Seguimiento de varios tipos de flotadores desplegados desde el B/O Pelagiy el B/O Pourquoi Pas?.....	11
Ilustración 3.	B/O Pelagia. ©Nioz.	13
Ilustración 4.	Flotadores lagrangianos a bordo de B/O Pelagia. © Ana Orts.	14
Ilustración 5.	AUVs + boya Gateways a bordo de B/O Pelagia. © Ana Orts.....	15
Ilustración 6.	Distribución de los Avistamientos de Mamíferos Marinos durante la campaña. © Google.	21
Ilustración 7.	Esfuerzo visual según la actividad de la fuente.	22
Ilustración 8.	Dirección de viento en horas y en porcentaje.....	23
Ilustración 9.	Porcentaje fuerza del viento (Beaufort).....	24
Ilustración 10.	Estado del mar según escala Douglas.	24
Ilustración 11.	Mar de fondo.	25
Ilustración 12.	Intensidad del brillo.	26
Ilustración 13.	Visibilidad en milles náuticas.....	26
Ilustración 14.	Condiciones generales de avistabilidad.	27
Ilustración 15.	Avistamiento #6. Soplo de misticeto no identificado. © Orestes Hidalgo.....	31
Ilustración 16.	Avistamiento #7. Salpición de Delphinus delphis. © Orestes Hidalgo.....	31
Ilustración 17.	En amarillo y naranja se muestran las trayectorias cubiertas por los AUVs superpuestas sobre las trayectorias de varios flotadores desplegados en la zona (representadas sus trayectorias en color verde, rojo, púrpura y verde lima). © Shaun Jhonson.	32
Ilustración 18.	Muestra la trayectoria seguida por varios flotadores revelando la estructura de los remolinos (eddies). © Shaun Jhonson.	32
Ilustración 19.	Tansecto realizado con UCTD y ADCP en la misma zona de los remolinos. © Shaun Jhonson.	33
Ilustración 20.	Muestra el desplazamiento realizado por varios flotadores durante la campaña. © Shaun Jhonson.	33



Ilustración 21. Ccorrelación de los desplazamientos realizados por los flotadores con imágenes satelitales en las que se representan los remolinos (zonas de especial interés científica). © Shaun Jhonson.34



Sumario

La presente campaña es la tercera y última, desarrollada bajo el marco del proyecto CALYPSO, (Coherent Lagrangian Pathways from the Surface Ocean to Interior). Tiene como objetivo entender, caracterizar y predecir las tres corrientes dimensionales que las aguas superficiales llevan a las profundidades del océano. CALYPSO es una iniciativa de investigación departamental (DRI) fundada por U.S. Office of Naval Research (ONR). Es un programa colaborativo que engloba más de 30 científicos y estudiantes, además de múltiples instituciones de los Estados Unidos, España e Italia.

La participación española es aportada por los científicos del Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados – Consejo Superior de Investigaciones Científicas y la Universidad de Islas Baleares (IMEDEA (CSIC-UIB)) y el Sistema de Observación Costero de las Islas Baleares (SOCIB) en Mallorca.

La campaña tuvo lugar en el Mar Balear, en el Oeste del Mar Mediterráneo entre los días 19 de febrero y 12 de marzo de 2022. Para llevarla a cabo se utilizaron dos buques oceanográficos. El buque R/V Pelagia con bandera holandesa zarpó desde Palma de Mallorca (España) a la zona de muestreo y el buque Pourquoi Pa? con bandera francesa que lo hizo desde Toulon (Francia). Ambos barcos estuvieron trabajando de forma coordinada a una distancia entre ellos de unos 50 km durante toda la campaña.

Las observaciones de mamíferos marinos se llevaron a cabo única y exclusivamente desde el buque R/V Pelagia y por ende las medidas de mitigación para el ruido submarino sólo se aplicaron a dicho buque y su instrumentación. Estas medidas fueron aplicadas por tres observadores de mamíferos marinos (MMO) a bordo. Para la aplicación de las medidas de mitigación, se siguen las recomendaciones elaboradas por el MAGRAMA (actualmente MITECO) en el documento “Prospecciones Sísmicas Marinas: acuerdo de medidas de mitigación del efecto en los cetáceos de aguas españolas e identificación de áreas sensibles” (Chicote et. al 2011) , así como de la Joint Nature Conservation Committee (JNCC) y el acuerdo de ACCOBAMS (Acuerdo sobre la Conservación de los Cetáceos del Mar Negro, el Mar Mediterráneo y la Zona Atlántica Contigua) siguiendo las directrices que figuran en la Resolución 4.172 de la 4ª Reunión de las Partes de ACCOBAMS (2010) y las resoluciones 5.153 y 5.134 (2013) que complementan la Resolución 4.17 (ACCOBAMS), así como el Documento Nacional de ruido (MAGRAMA, 2012), donde se exponen las medidas de mitigación para el impacto de cetáceos y tortugas en aguas de jurisdicción españolas. Los métodos de mitigación se exponen con más detalle en los siguientes puntos, y se basan en los manuales para MMO y PAM para operaciones off-shore generadoras de ruido en aguas españolas, publicadas en 2014 por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA 2012).

La duración total del esfuerzo de monitoreo ambiental fue 211 horas y 20 minutos. De las cuales 209 horas y 57 minutos se realizaron con la fuente a máxima potencia y 1 hora y 23 minutos con la fuente apagada.

Durante la presente campaña hubo 7 avistamientos. Todos ellos se produjeron con la fuente en máxima potencia, uno de ellos supuso una acción de mitigación, resultando en el apagado de la fuente (*shutdown*).



1. INTRODUCCIÓN

El presente informe es el resumen de las medidas de mitigación aplicadas, derivadas del permiso emitido por la SUBDIRECCIÓN GENERAL DE BIODIVERSIDAD TERRESTRE Y MARINA de la DIRECCIÓN GENERAL DE BIODIVERSIDAD, BOSQUES Y DESERTIFICACIÓN para operar en aguas españolas (N/REF: CO/21/29).

NIOZ solicitó a través de la embajada española en Holanda un permiso para que el buque oceanográfico Pelagia realizara un proyecto de investigación en aguas españolas, concretamente en el Mar Balear, en el Oeste del Mar Mediterráneo desde el 18 de Febrero hasta el 12 de Marzo. El Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados IMEDEA del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y la Universidad de Islas Baleares (CSIC-UIB) dio soporte a NIOZ en la obtención de los permisos y en la elaboración de los informes ambientales. La campaña se desarrolló bajo el marco del proyecto CALYPSO (Coherent Lagrangian Pathways from the Surface Ocean to Interior), que tiene como objetivo entender, caracterizar y predecir las tres corrientes dimensionales que las aguas superficiales llevan a las profundidades del océano. CALYPSO es una iniciativa de investigación departamental (DRI) fundada por U.S. Office of Naval Research (ONR).

En respuesta a la petición de permiso enviada por IMEDEA la Dirección General de Biodiversidad, Bosques y Desertificación, Subdirección General de Biodiversidad Terrestre y Marina del gobierno de España requirió el uso de unas medidas de mitigación que preservaran la biodiversidad N/REF: CO/21/29.

El estudio se llevó a cabo siguiendo las medidas establecidas en dicho permiso y en general bajo el marco regulatorio del **Documento técnico sobre impactos y mitigación de la contaminación acústica marina (MAGRAMA 2012)**.

En cumplimiento con la licencia y actividades del estudio, tres observadores de mamíferos marinos llevaron a cabo vigilancia visual durante las horas de luz, antes y durante la realización de cualquier actividad acústica.

1.1. Objetivos científicos

La campaña de 2022 es la última y final de las tres campañas CALYPSO. Los objetivos son:

1. Localizar múltiples frentes submesoescala en el Mar Balear (Oeste del Mar Mediterráneo), usando detección remota por satélite, modelos en tiempo real y herramientas de muestreo presentes en el barco.
2. Medir la estructura Euleriana de varios frentes incluyendo:
 - a. La estructura de temperatura, salinidad y velocidad horizontal en escalas de 1-20 km y profundidades desde 0-200m.
 - b. La estructura de oxígeno, clorofila, nutrientes, dispersión óptica y diversidad de fitoplancton en escales de pocos kilómetros.



3. Medir la superficie de las trayectorias Lagrangianas que abarcan el frente e infieren en los valores de vorticidad, divergencia y dispersión superficiales.
4. Medir varias trayectorias Lagrangianas 3D originadas en la superficie que transportan agua hacia el interior.

1.2. Mamíferos marinos

Las características físicas de las Islas Baleares convierten a esta zona en un hábitat idóneo para la mayoría de los cetáceos presentes en el Mediterráneo occidental. Su situación alejada de la costa peninsular, junto con una plataforma continental relativamente estrecha, producen perfiles batimétricos abruptos y profundidades elevadas a corta distancia de la costa, lo que favorece la presencia de una gran diversidad de especies de cetáceos. Las especies más comunes en las aguas Baleares son el delfín mular y el delfín listado. En las áreas más profundas que rodean a las islas y en los canales de Menorca e Ibiza, son frecuentes el cachalote, el rorcual común, el calderón común y el delfín de Risso (Raga & Pantoja, 2004). Otras especies muy poco frecuentes son la Yubarta, Orca y la falsa orca.

- Delfín mular (*Tursiops truncatus*)

El delfín mular es un delfín de tamaño grande, color gris oscuro y con una aleta dorsal falciforme situada en una posición central del cuerpo. Se localiza preferentemente en aguas costeras de la plataforma continental y en aguas interiores de rías. El tamaño medio del grupo suele ser de entre 15 y 20 individuos.

- Delfín listado (*Stenella coeruleoalba*)

Delfín de tamaño mediano, de color gris azulado en el dorso, gris claro en la parte lateral media y blanca en la parte ventral. Su aleta dorsal es falciforme y está situada en una posición central del cuerpo. Es una especie cosmopolita que habita tanto en aguas del talud como oceánicas. Su tamaño de grupo es variable, desde pocos individuos hasta varios cientos.

- Cachalote (*Physeter macrocephalus*)

Cetáceo de tamaño grande y de color marrón-gris oscuro. Su aleta esta reducida a una pequeña giba situada en el tercio posterior del cuerpo. Debido a su alimentación oportunista, se encuentra en zonas de alta productividad desde los 500 a más de 2000 metros de profundidad, tanto en talud continental, donde su distribución se relaciona con las características batimétricas, como en aguas oceánicas más profundas en zonas de frente de corrientes y zonas de orografía de fondo abrupta (Gannier & Praca, 2007; Azzellino et al., 2008; Praca & Gannier, 2008; Pirota et al., 2011).

- Delfín común (*Delphinus delphis*)

Delfín de tamaño medio, de color negro en el dorso, amarillo en el lateral anterior y grisáceo en el posterior. Su aleta dorsal es falciforme y está situada en una posición central del



cuerpo. Habita tanto en aguas costeras como oceánicas y con tamaños de grupo variables desde pocos individuos hasta varios cientos.

- Delfin de Risso (*Grampus griseus*)

Es un calderón de tamaño pequeño, de color gris oscuro o gris claro, con aleta dorsal falciforme alta y recta situada en una posición central de cuerpo. Habita preferentemente aguas de talud continental.

- Calderon común (*Globicephala melas*)

Calderón de tamaño grande, de color negro con aleta dorsal baja y relativamente grande, situada en una posición central del cuerpo. Tiene preferencia por aguas del talud continental. Tamaños de grupo de entre 5 y 100 individuos.

- Zifio de Cuvier (*Ziphius cavirostris*)

Zifio de tamaño grande, de color marrón oscuro-grisáceo, con aleta dorsal triangular, ligeramente falcada, situada en el tercio posterior del cuerpo. Se encuentra preferentemente en aguas profundas de cañones y montañas submarinas. El tamaño medio del grupo varía entre 1 y 3 individuos.

- Rorcual común (*Balaenoptera physalus*)

Rorcual de tamaño grande, de color negro pardusco-gris plateado, con aleta dorsal falciforme situada en el tercio posterior del cuerpo. Se encuentra normalmente en aguas exteriores de la plataforma continental, entre los 500 y 2000 metros. El tamaño medio del grupo es de 1 y 3 individuos.

1.3. Tortugas Marinas

De las 7 especies de tortugas marinas, 5 han sido registradas en aguas españolas. De todas ellas la tortuga boba y la tortuga laúd son las más frecuentes de observar. En el caso en concreto del Mar Menor la única especie frecuente es la tortuga boba y de forma muy ocasional podemos encontrar tortuga laúd y tortuga bastarda o lora.

- Tortuga boba (*Caretta caretta*)

Es una tortuga marina de tamaño medio, entre los 70 y 110 cm de longitud, con caparazón más largo que ancho, de color marrón- anaranjado con tonos rojizos, típicamente con 5 pares de escudos vertebrales y 5 pares costales.

Es una especie común durante todo el año con máximos de presencia en los meses de primavera. Aunque la especie se encuentra ampliamente distribuida por toda la demarcación en aguas desde los 50 hasta los 1000m de profundidad, prefiere las aguas del

talud continental entre los 500 y 1000m. Las zonas de máxima densidad se dan sobre todo en la zona de Murcia y Baleares.

1.4. Zona de estudio

La campaña tuvo lugar en el Mar Balear, en el Oeste del Mar Mediterráneo, entre los días 18 de Febrero y 12 de Marzo de 2022. Debido a problemas de logística, parte del equipo instrumental no llegó a tiempo al inicio de la campaña, por lo que esta tuvo que ser modificada, quedando dividida en dos fases. Una en la que sólo se pudo utilizar uCTD y ADCP, en la que se muestreó de forma continuada desde la Salida del puerto de Palma el día 18 de febrero, hasta la llegada al puerto de Barcelona el día 2 de Marzo. En la segunda fase de la campaña (desde el día 2 de Marzo hasta final de campaña, 12 de Marzo).ya con todo el equipo instrumental a bordo, se utilizaron AUVs y flotadores Lagrangianos. Estos equipos se utilizaron de forma discontinuada y sin atender a unos transectos pre-establecidos. Fueron utilizados de forma espontánea, según se observaran condiciones propicias para su uso y/o se encontrara una zona de especial interés científico. Además en esta segunda fase también se siguió con el uso de ADCP de forma continuada y del uCTD de forma alterna y mayoritariamente de noche.

El buque Pelagia zarpó desde Palma de Mallorca (España) a la zona de muestreo, mientras que Pourquoi Pa? Lo hizo desde Toulon (Francia). Ambos barcos estuvieron trabajando de forma coordinada a una distancia entre ellos de unos 50 km.

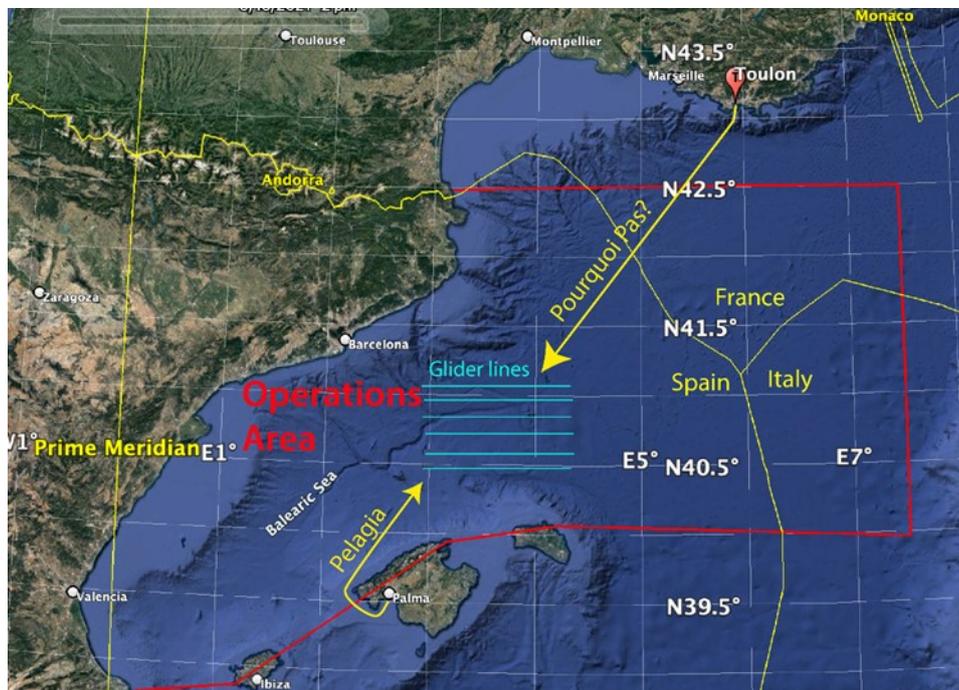


Ilustración 1. Mapa de operaciones. El rectángulo rojo representa el área de estudio. Las líneas amarillas delimitan aguas territoriales de Francia, España e Italia. Flechas amarillas indican Puerto de origen y dirección de los buques Pelagia (desde Palma de Mallorca, España) y Pourquoi Pa? (desde Toulon Francia). Las líneas azules representan líneas de muestreo de gliders..

Durante La campaña se detectaron unas zonas de especial interés científico, dentro de la zona de estudio anteriormente indicada. En dicha área se centraron la mayoría de las operaciones del B/O Pelagia que consistieron en estudios repetidos en un frente y un remolino ciclónico al NE del frente, con una variedad de mediciones desde barcos y plataformas autónomas.

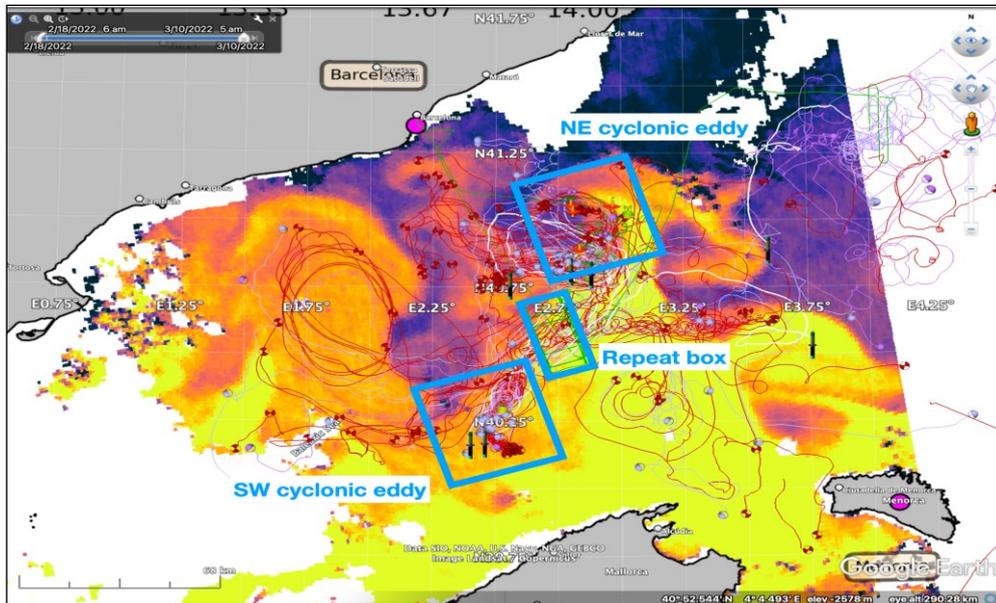


Ilustración 2. Seguimiento de varios tipos de flotadores desplegados desde el B/O Pelagiay el B/O Pourquoi Pas? en el Mar Balear en una imagen SST de Sentinel tomada el 7 de marzo de 2022. La mayoría de las operaciones se centraron en el cuadro nombrado como Repeat Box (cerca de 2° 45'E, 40° 30'N) y numerosas operaciones más pequeñas en el remolino ciclónico al NE (cerca de 3°E, 41°N).

1.5. Actividad local

En la zona de muestreo no se encontró gran actividad durante el periodo de campaña. Algunos buques cargueros fueron avistados a más de 2000m desde B/O Pelagia, correspondientes a las rutas comerciales Barcelona-Tanger, Genova-Tanger y Sete-Tanger. También se avistó el ferri que realiza la ruta Mallorca-Barcelona. No se encontró ningún tipo de actividad pesquera por la zona ni ninguna estructura flotante cercana a la zona de estudio.

2. INFORMACIÓN TÉCNICA DE LA EMBARCACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y EQUIPOS

Para la realización de la campaña se utilizaron dos buques oceanográficos El B/O Pelagia, al que se le aplicaron las medidas de mitigación, y el B/O Pourquoi Pa? Al que no se le aplicó ninguna medida de mitigación, por lo que este informe sólo incluirá datos e información obtenidos a bordo del B/O Pelagia.



2.1 Embarcación Pelagia

La campaña oceanográfica se llevó a cabo a bordo del buque de investigación B/O Pelagia.

Pelagia es un buque de investigación de bandera Holandesa, construido en 1991 en el astillero Verolme Shipyard Heusden (Holanda) con número 1019. Actualmente pertenece a la NIOZ, una Universidad, que lo utiliza para diferentes campañas oceanográficas por todo el mundo. Este barco tiene su base en el puerto de Texel, en Holanda. Más datos sobre el B/O Pelagia pueden encontrarse en la tabla 1.

Particulars of MV Pelagia	
Vessel name	MV Pelagia
Vessel type	Research/Survey vessel
Port of registry	Texel
Owner	NIOZ
Call sign	PGRQ
Flag	Dutch
Class	Bureau Veritas, Certified Sea Areas: A1, A2 and A3
IMO number	9001461
<i>Dimensions</i>	
Length over all	66.05m
Breadth moulded	12.80m
Draft	4.20m
Depth	6.85m
Gross tonnage	1615 tons
Nett tonnage	484 tons
Displacement	1671 tons
Deadweight	525 tons
Cruising speed	9 kn
Maximum speed	11 kn
Total ballast capacity	210m ³
Ship certified to carry	34 persons

Tabla 1. Características del B/O Pelagia.

El barco cuenta con dos laboratorios “secos”, dos laboratorios para procesar muestras de mar situados en la cubierta de popa (no usado en esta campaña) y una sala de conferencias. Además de las corrientes instalaciones y dependencias de un buque.

En el laboratorio seco se estableció la zona para procesar los datos obtenidos durante la campaña donde el equipo científico trabajó habitualmente.

El B/O Pelagia cuenta con un Certificado Sistema Integrado de Gestión (IMS "Integrated Management System"), que cumple con las normas internacionales de seguridad en el mar especificadas en el Convenio SOLAS de acuerdo con la Organización Marítima Internacional (OMI).



Ilustración 3. B/O Pelagia. ©Nioz.

2.2 Equipos utilizados

2.2.1 uCTD (underwater UCTD)

Este equipo funciona con una sonda Seabird, midiendo presión, temperatura y salinidad o con una sonda Valeport midiendo presión, temperatura, salinidad y clorofila.

Para largar y virar el equipo se emplea una pequeña grúa de 110/220 Volts, 45-60 Hz at 1500 W. Esta maniobra se realiza desde la cubierta de popa y siempre por un equipo de 2 personas para realizar las acciones de grúa, rebobinar el carrete y descargar los datos de la sonda. La maniobra consiste en largar la sonda por 2 minutos y posteriormente recogerla durante 3 minutos, un total de 5 minutos por perfil.

La diferencia entre las dos sondas es que la sonda Seabird se ha de recoger bordo para descargar los datos en el ordenador, mientras que la sonda Valeport se conecta con bluetooth al repetidor y descarga los datos cada vez que la sonda se aproximaba al repetidor cerca de la superficie. De cualquier modo, ambas sondas se recogieron a bordo para descargar los datos porque la conexión bluetooth de la sonda Valeport no funcionó correctamente.

2.2.2 ACDP (Acoustic Doppler Current Profiler)

Este equipo mide las corrientes de agua utilizando el principio de Doppler. En el que se emplea la diferencia de frecuencias que son emitidas- recibidas por el instrumento para calcular lo rápido que se mueven las partículas y el agua a su alrededor.



El buque tiene un ADCP instalado de 75 kHz que toma datos a partir de 200m de profundidad, que estuvo funcionando en continuo durante toda la campaña. Para compensar la falta de datos de los primeros 200m de profundidad, se utilizó un ADCP de 500 kHz, durante solamente 1 hora.

2.2.3 Flotador Lagrangiano

Estos equipos miden temperatura y salinidad. Tienen la capacidad de descender y ascender dentro del océano, midiendo su estructura vertical de manera periódica, para obtener información de distintas variables que luego es transmitida al satélite. Al hundirse quedan a la deriva en aguas de una determinada densidad permaneciendo sumergidos con flotabilidad neutra durante 3-5 días. Estos vehículos a la deriva autónomos miden 1.4m y pesan 50kg, tienen un hidrófono para poder ser seguidos acústicamente. Emergen ocasionalmente para reportar datos y posición. Una vez en la superficie pueden ser avistados gracias a una bandera naranja y una luz blanca intermitente. Entre flotadores y barco no existe ningún tipo de intercambio acústico a no ser que desde el barco se inicie la comunicación.

Se utilizaron 4 flotadores durante la campaña (MLF 88, MLF 89, MLF 81 y MLF 82 que se largaron conjuntamente con boyas de SOCIB. Estos flotadores se largaron y recogieron continuamente cuando las condiciones del mar fueron favorables. Para la maniobra de largado se empleó la grúa del costado de estribor para depositar el flotador cuidadosamente en el agua. Para recoger el equipo se empleó un gancho y la grua de estribor para subirlo a bordo.

El barco realiza el seguimiento acústico de los flotadores mediante *trackpoint*, un sistema de seguimiento acústico, utilizando un ADCP.



Ilustración 4. Flotadores lagrangianos a bordo de B/O Pelagia. © Ana Orts.

2.2.4 Flotadores Argo

Estos flotadores se largaron desde popa y NO se recogieron al final de la campaña.

Se largaron 8 flotadores Argo durante la campaña. Este equipo no requirió acciones de mitigación.



2.2.5 AUV (Autonomous underwater vehicle)

Consiste en un sistema compuesto por una boya *Gateway*, 2 AUVs y un *ranger*. Los AUVs son un sistema portátil Kongsberg Maritime REMUS 100 que se larga mediante una grúa en popa. Estos equipos orbitan sumergidos alrededor de la boya *Gateway* formando un cuadrado alrededor de ella de unos 500m aproximadamente. Previo a los AUV se larga la boya *Gateway*. Esta está en continua comunicación acústica con los AUVs y el barco permitiendo de este modo hacer un seguimiento tanto de la boya como de los AUVs. Desde el barco se monitoriza la distancia barco- AUV, barco – boya *Gateway* mediante el *ranger* que indica la distancia a la que se encuentran tanto la boya *Gateway* como el AUV del barco.

Las operaciones con AUVs se realizan exclusivamente durante el día para evitar la pérdida de equipamiento. Para recoger los AUVs y la boya *Gateway* se utiliza una embarcación semirrígida auxiliar que aproxima el equipo hasta el costado estribor del barco. Una vez allí se emplea un gancho y una grúa para subir el equipo a bordo. El *ranger* se larga desde el costado de estribor del barco de forma manual y se recoge del mismo modo.

Los AUVs también fueron utilizados de forma autónoma, es decir sin boya *Gateway*, a los cuales se les programaron unas coordenadas y fueron navegando desde el buque hasta dicha coordenada y vuelta al buque. En esta prospección autónoma se recogieron datos de igual forma que cuando funcionan en conjunto con la boya *Gateway*.



Ilustración 5. AUVs + boya Gateways a bordo de B/O Pelagia. © Ana Orts.

2.3 Fuentes de energía (emisor de onda acústica)

Las diferentes fuentes de sonido , así como las medidas de mitigación derivadas del permiso se muestran en la tabla 2

Source Name	Source Depth (m)	Sound Pressure Level (dBrms@1m)	Low Frequency (kHz)	High Frequency (kHz)	Geometric Mean Frequency (kHz)	Pulse Length (msec)	Pulse Repetition Rate (sec)	Duty Cycle (%) *	Horizontal Beamwidth (deg)*	Vertical Beamwidth (deg)*	D/E Angle (deg)	proposed hours of use in the Engineering Test	proposed hours of use in the Main Experiment	MITIGATION	SHUT DOWN
Shipboard equipment															
1 TRDI WorkHorse Long Ranger 75kHz ADCP	4	223	67.2	86.4	76.8	23	2	1.15	4 degrees for each of 4 beams		-90	24 hrs/day	24 hrs/day	MMO Observer	
2 TRDI Sentinel V50 ADCP	4	214	430	552.9	491.5	2.9	0.5	0.58	2.5 degrees for 4 Janus beams, 5 degrees for vertical beam		-90	24 hrs/day	24 hrs/day	MMO Observer	
3 TRDI Sentinel V20 ADCP	4	218	860.1	1105.9	983	1.5	0.5	0.3	2.7 degrees for 4 Janus beams, 4 degrees for vertical beam		-90	24 hrs/day	24 hrs/day	MMO observer	
8 Trackpoint range and direction finder for floats	3	193	15	15	15	10	5	0.2	360	90	-90	24 hrs/day	24 hrs/day	250 EZ (PAM+MMO)	

3. MÉTODOS Y OBSERVACIONES

3.1 Consideraciones generales

La función principal de un MMO (observador de mamíferos marinos) es actuar como un observador de mamíferos marinos para recomendar un retraso en el comienzo de la actividad acústica si se detecta algún mamífero marino o tortuga dentro de la zona de exclusión y recomendar procedimientos de cese de actividad (*shutdown*), en caso que se identifiquen mamíferos marinos o tortugas dentro de la zona de mitigación durante los períodos de actividad acústica cuando la fuente de sonido está operativa. Además, un MMO debe poder asesorar a la tripulación sobre los procedimientos establecidos en las directrices adoptadas y brindar asesoramiento para garantizar que el programa de investigación se lleve a cabo de acuerdo con dichas directrices.

Se emplean observadores capacitados y aprobados para el programa de monitoreo y presentación de informes, incluida la supervisión de las reglas de mitigación implementadas.

Los observadores de mamíferos marinos a cargo del programa de monitoreo deben estar calificados, dedicados y con experiencia, y disponer del equipo adecuado.

Los MMO deben estar presentes en cantidades suficientes para garantizar que el monitoreo no se vea comprometido por la fatiga. Deben asegurarse de recibir una copia de los procedimientos de mitigación solicitados por la autoridad reguladora, ya que pueden variar entre actividades.

Al menos dos MMO deben estar a bordo del buque oceanográfico que opera en el área de estudio, observando la zona de estudio continuamente. Los turnos nunca deben exceder las 2 horas y los MMO deben poder descansar entre turnos. Deben cumplirse sistemáticamente las siguientes tareas:

- Monitorizar el área implementando las medidas de mitigación cuando sea necesario. Durante la pre-vigilancia, 2 MMO cubrirán el área buscando mamíferos marinos cubriendo 360° alrededor de la fuente del sonido.
- Los MMO recogerán datos sobre abundancia, distribución y comportamiento a lo largo de la campaña, tanto durante el periodo de muestreo como de navegación.
- Realización de informes.

3.2 Protocolo de mitigación

Las principales medidas de este protocolo de actuación están relacionadas con ruido subacuático. A la hora de aplicar medidas de mitigación se han seguido las recomendaciones establecidas por MAGRAMA (actualmente MITECO) en el permiso N/REF: CO/21/29, que hace referencia al documento ***“Prospecciones sísmicas marinas: acuerdo de medidas de mitigación***



del efecto en los cetáceos de aguas españolas e identificación de áreas sensibles” (Chicote et. al 2011) así como el acuerdo de ACCOBAMS (Agreement on the Conservation of Cetaceans of the Black Sea, the Mediterranean Sea and the Contiguous Atlantic Area) siguiendo las pautas de la resolución 41.7 del 4º encuentro de ACCOBAMS (2010) y las resoluciones 5.13 y 5.15 (2013) que complementan la resolución 41.7 ACCOBAMS y el documento técnico sobre impactos y la mitigación de la contaminación acústica marina (MAGRAMA, 2012) que trata medidas de mitigación de impacto en cetáceos y tortugas en aguas de jurisdicción española y están basadas en el manual de MMOs y PAMs para operaciones off-shore generadoras de ruido en aguas españolas, publicado en 2014 por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA).

Las medidas de mitigación se exponen a continuación:

- Los MMOs realizan una inspección visual en busca de cetáceos y tortugas dentro de la zona de exclusión durante 30 minutos previos al inicio de la actividad acústica (flotadores, AUVs, ADCP) si la batimetría es inferior a 200m y de 60 minutos si es superior a 200m. En el caso que en la zona se encuentren especies altamente sensibles (zifios), se seguirá la recomendación de ACCOBAMS que es llevar a cabo la inspección visual durante 120 minutos, por ser estos animales especies de buceo profundo capaces de estar durante largos periodos alimentándose en el fondo.
- Se mantiene una vigilancia continua. La actividad debe ser detenida (*shutdown*) si cetáceos o tortugas entran en la zona de exclusión. A excepción de avistamientos de delfines dentro de la ZE por un tiempo menor de 2 minutos y delfines nadando en la proa. Considerando que el nivel de presión sonora (SPL) 160 dB no superara los 60m de alcance entre los 0-200m de profundidad y teniendo en cuenta que la fuente emisora se encuentra en la popa del barco (teniendo este una eslora de 66m), los animales nunca estarán expuestos a niveles que les puedan afectar. Se iniciará la pre-vigilancia una vez el animal haya salido de la ZE.
- Cambio de operación: cada vez que cambie la operación o se larguen distintas fuentes acústicas, se realizarán las siguientes acciones de mitigación:
 - ADCP. Pre-vigilancia antes de comenzar con la actividad acústica.
 - UCTD + ADCP. Pre-vigilancia antes de comenzar con la actividad acústica.
 - ADCP + AUV. Pre-vigilancia antes de comenzar con la actividad acústica, estableciendo la ZE tanto alrededor del ADCP como de la boya Gateway.
 - ADCP + flotadores. Pre-vigilancia antes de comenzar con la actividad acústica, estableciendo la ZE tanto alrededor del ADCP como del flotador.
- No se requiere *soft-start* antes del inicio de cualquier actividad acústica, puesto que el equipo utilizado no permite un aumento gradual de sus emisiones acústicas.

3.2.1 Zona de exclusión

Se establece una zona de exclusión (ZE) dinámica desde la fuente de emisión acústica de 250m, para fuentes con nivel de presión sonora (SPL) > 160 dB RMS según el permiso de operaciones



de la embarcación N/REF: CO/21/29. Esta zona de exclusión se deriva de la modelización de la fuente (Ver Anejo IV- Modelización de ruido Calypso)

En el caso de AUVs + boya *Gateway* se considerarán ambos como un sistema y se establecerá la ZE móvil alrededor de la boya *Gateway*.

3.3 Métodos de trabajo para la detección de mamíferos marinos

La observación de la zona de exclusión fue obligatoria durante todas las horas de luz en las que hubo actividad acústica por al menos uno de los observadores. Lo que resultó en una observación continua puesto que el ADCP del barco trabajó ininterrumpidamente desde la salida de puerto.

Anterior al inicio de la actividad acústica se establece un periodo mínimo de observación de 30 minutos para comprobar que no hay ningún mamífero marino o tortuga dentro de la zona de exclusión.

Ambos observadores realizan turnos individuales y conjuntos de forma que se asegure un correcto descanso a modo de evitar fatigas que interfieran en sus labores de observación.

Las observaciones se realizan desde el puente y alas del puente asegurando una vista de 360 grados sobre el nivel del mar. También se observó desde la cubierta D en proa, con una vista del horizonte de 180 grados. La técnica para divisar avistamientos fue observando a ojo descubierto el área en general apoyándose de unos prismáticos (8x43) para áreas de especial interés como olas, espumas, reflejos, salpicones, soplos y aves alimentándose. Esta técnica en buenas condiciones ambientales asegura un amplio éxito de divisar avistamientos en un rango de seis kilómetros.

La distancia de los animales a la fuente fue estimada con el *rangestick*, método reconocido por la JNCC como válido para determinar distancias animal-fuente.

Los observadores usaron como elemento para la confirmación de la especie en el avistamiento cámaras profesionales del tipo DSLR con lentes de 70-300mm.

Los datos de avistamientos, operaciones y esfuerzos fueron registrados en los formularios nombrados como *Formularios MMO 12032022*, los cuales se basan en los principios establecidos por JNCC y ACCOBAMS para el registro de dichas actividades.

Un avistamiento queda definido como el encuentro de un animal o grupo de animales, (un encuentro de un grupo de diez delfines se consideró como un avistamiento).

Los observadores también registraron cada hora y diariamente, posición y curso del buque, condiciones ambientales, cambios en la actividad de la fuente, dirección del viento y su fuerza (Beaufort) utilizando para su registro las clasificaciones establecidas por la JNCC. Esta información es obtenida a través de la propia instrumentación del buque o indicada por la tripulación del puente.

Para la identificación de especies, los observadores utilizaron la combinación de experiencias previas así como diferentes fuentes como las nombradas a continuación:

- Ballesteros, E and Lobet, T. (2015) Fauna y Flora del Mar Mediterráneo. Biotipe éditions.
- Carwardine, M., (1995) Whales, Dolphins and Porpoises, Dorling Kindersley Handbooks.
- Shirihi, H. and Jarrett, B. (2006) Whales, Dolphins and Seals. A field guide to the marine mammals of the world. A&C Black Publishers.

3.4 Distribución de los Avistamientos de Mamíferos Marinos

La distribución geográfica de todos los avistamientos de mamíferos marinos durante la campaña se puede ver en la siguiente ilustración (6). Más detalle sobre estos avistamientos se encuentra en los Anexos I y II.

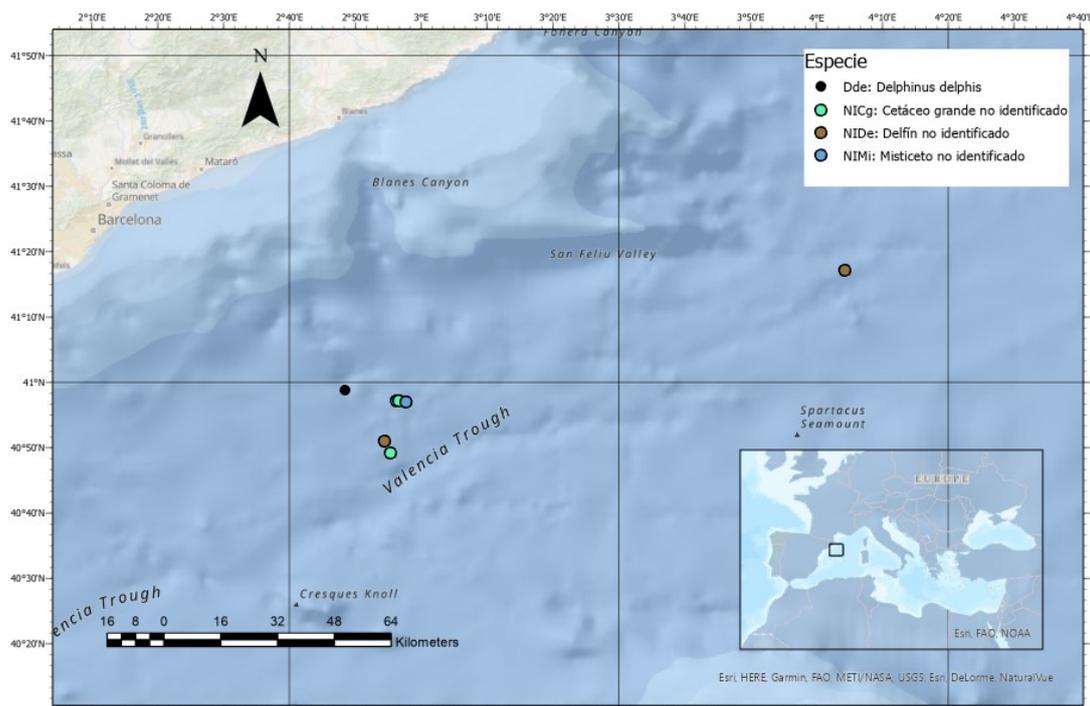


Ilustración 6. Distribución de los Avistamientos de Mamíferos Marinos durante la campaña. © SUBMON

3.5 Esfuerzo Visual

El barco salió del puerto de Palma de Mallorca, España, en la tarde del 20 de febrero para la realización de la última campaña CALYPSO con dos observadores MMO y uno PAM. Durante el tránsito se dieron a conocer las líneas principales de trabajo y de mitigación para los científicos y equipo de investigación. Desde la salida de puerto en Mallorca se comenzó con la actividad acústica de ADCP, dando inicio al esfuerzo visual. El día 21 se comenzó a trabajar con el uCTD

(equipo no mitigable). El día 2 de marzo se atracó en el puerto de Barcelona para recibir equipamiento científico y desembarcar al operador PAM. Viéndose reducido el equipo de mitigación a dos MMOs y limitado a esfuerzo visual durante el día. Esa misma noche se zarpó a la zona de estudio. El día 3 de marzo se comenzó a trabajar con flotadores y AUVs. Debido a condiciones del mar adversas se dejó de trabajar con AUVs por unos días, puesto que este equipamiento está limitado a condiciones del mar favorables para permitir su recogida. El día 7 de marzo se volvieron a lanzar AUVs y flotadores.

La noche del 11 de marzo comenzó la navegación de vuelta al puerto de Palma de Mallorca donde terminó la campaña. Desembarcando los observadores el día 12 de marzo en dicho puerto.

La duración total del esfuerzo de monitoreo ambiental fue de un total de 211 horas y 20 minutos correspondientes a esfuerzo visual.

El esfuerzo visual según la actividad de la fuente se puede resumir en la ilustración 7.

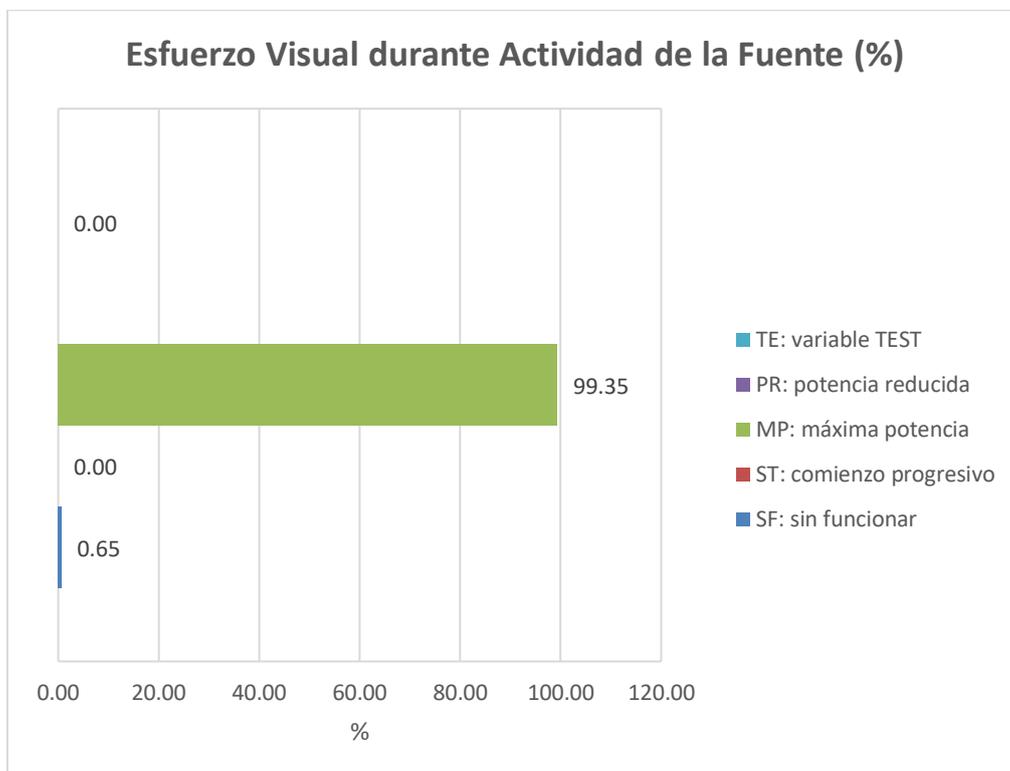


Ilustración 7. Esfuerzo visual según la actividad de la fuente.

3.6 Condiciones Climáticas

Las condiciones ambientales fueron regularmente anotadas por los observadores cada hora o cada vez que las condiciones ambientales u operacionales cambiaron.

Estas condiciones responden a la dirección y fuerza (Beaufort) del viento, escala Douglas del estado del mar, altura de la ola de fondo, intensidad del reflejo producido por el sol sobre el

mar, visibilidad y condiciones generales de avistamiento. Todas ellas fueron anotadas utilizando la instrumentación del puente o consultando a los oficiales del puente, siguiendo la normativa establecida por la JNCC.

3.6.1 Dirección y fuerza del viento

La dirección y fuerza de viento durante la campaña se representa en las ilustraciones 8 y 9 respectivamente.

El viento predominante en la zona de estudio durante la campaña es de NorEste/Sur que es la dirección del viento habitual para la zona de estudio, con rachas de viento que de media oscilaron entre 7 y 10 nudos, enmarcándose en el grado 3 en la escala de Beaufort, comúnmente denominado flojo. Con un porcentaje de frecuencia muy similar al del grado 3, destaca la presencia del grado 4. A partir de grado 5 las condiciones no son del todo favorables para el avistamiento, ya que se producen demasiadas olas y espumas asociadas a estos fuertes vientos imposibilitando o limitando la visibilidad del observador. También hubo durante gran parte de la campaña un grado 2.

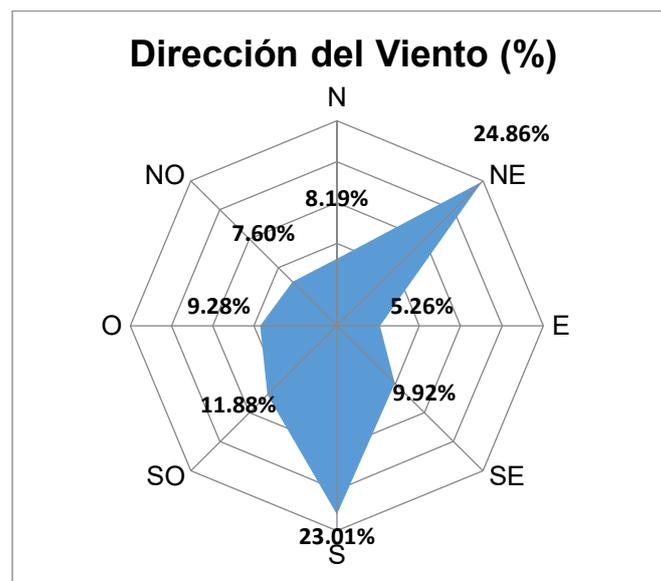


Ilustración 8. Dirección de viento en horas y en porcentaje.

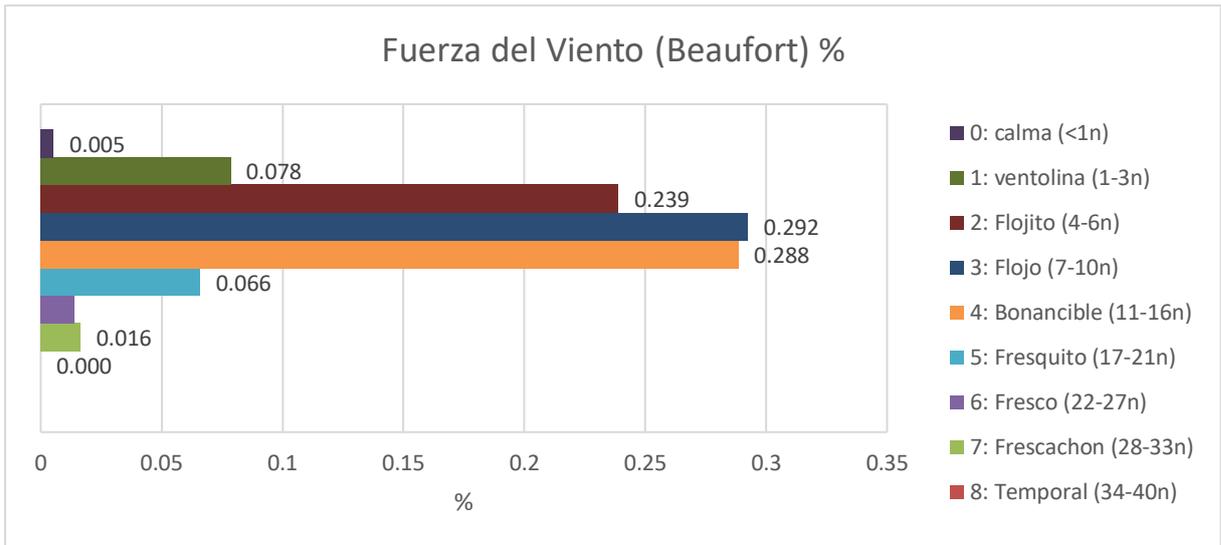


Ilustración 9. Porcentaje fuerza del viento (Beaufort).

3.6.2 Estado del mar

La Escala Douglas es una escala que clasifica los diferentes estados del mar en 10 grados tomando como referencia el tamaño de las olas, para esta campaña queda representada en la ilustración 10.

Durante la campaña se registró un oleaje medio de unos 0.1 metros de altura, siendo representado en escala Douglas como número 1, rizada. Correspondiendo a unas condiciones habituales para la zona de estudio y época del año. Un oleaje mayor de 1.25m dificulta las condiciones de avistabilidad.

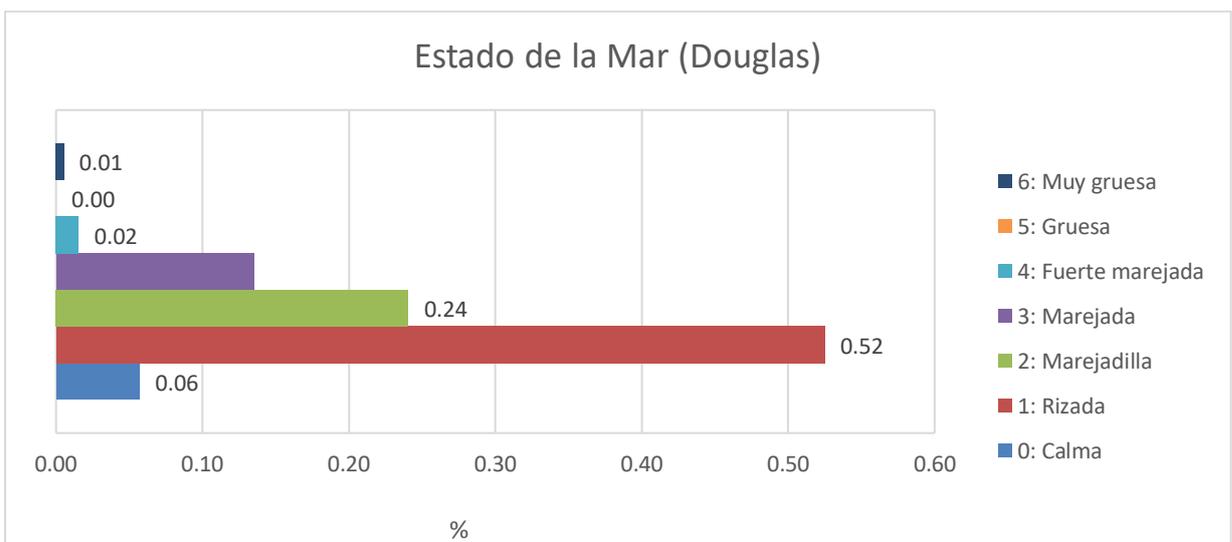


Ilustración 10. Estado del mar según escala Douglas.

3.6.3 Mar de fondo.

Mar de fondo es el movimiento de las olas (también llamado oleaje o sistema de olas) que se propaga fuera de la zona donde se ha generado, pudiendo llegar a lugares muy alejados. También recibe el nombre de mar tendida o mar de leva. Por tanto este estado del mar no tiene relación con el viento presente, aunque su causa es el viento que se haya originado en otra área distinta. La altura del mar de fondo se registró siguiente los parámetros: bajo (<2 m), medio (2-4 m) o grande (> 4 m). El mar de fondo de la zona de estudio medido en metros podemos observarlo en la siguiente ilustración.

Durante la campaña predominó un mar de fondo menor de 0.5m de altura, pudiendo llegar en ocasiones a 1m. En periodos muy puntuales de la campaña se produjeron vientos de noroeste, denominados mistrales, provenientes desde las costas del Mediterráneo hacia el mar. Estos vientos ocasionaron considerables olas de mar de fondo, siendo las medias de entre 1.5-2 metros de altura. Estas condiciones se consideraron aceptables para poder llevar a cabo la campaña pero lo cierto es que dificultaban considerablemente la observación de mamíferos marinos.

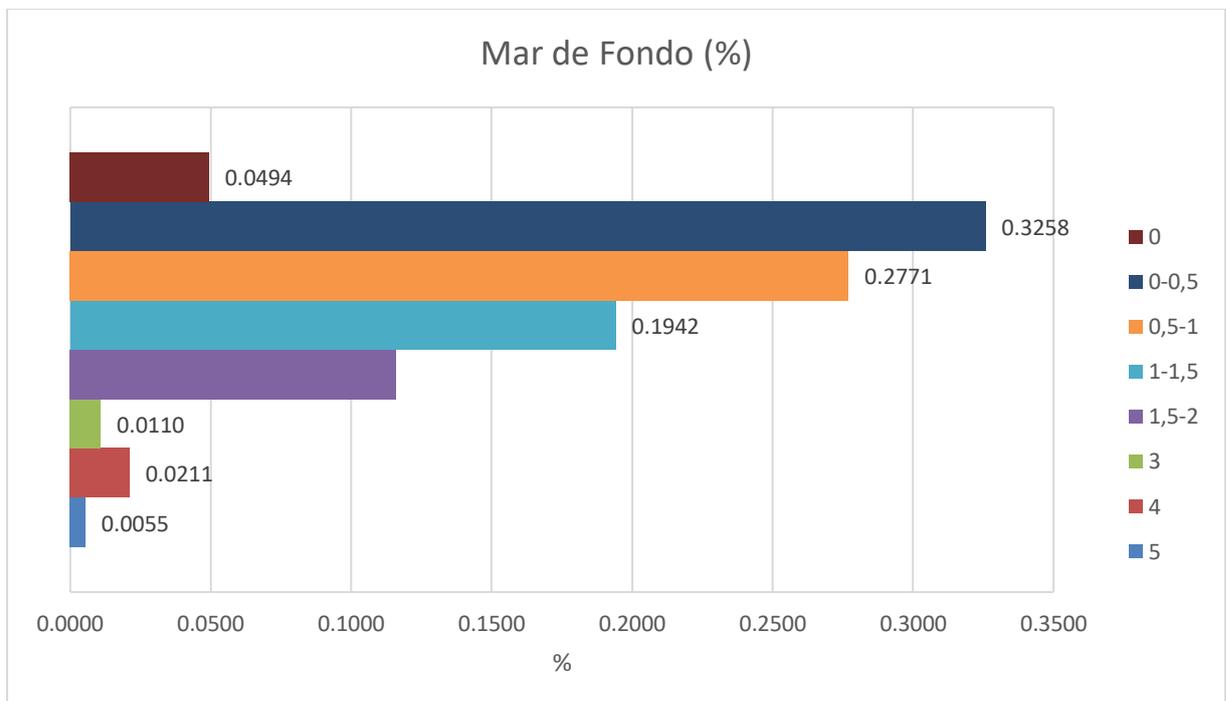


Ilustración 11. Mar de fondo.

3.6.4 Intensidad del brillo.

El brillo es la intensidad del reflejo que el sol produce sobre el mar, siendo este un factor importante ya que a brillos muy intensos puede dificultar la identificación del avistamiento. Es un elemento más que debe considerarse y medirse durante la campaña, quedando representado en la siguiente ilustración.

Durante la campaña se produjeron pocos intervalos nubosos por lo que hubo condiciones de brillo intenso la mayor parte de esta.

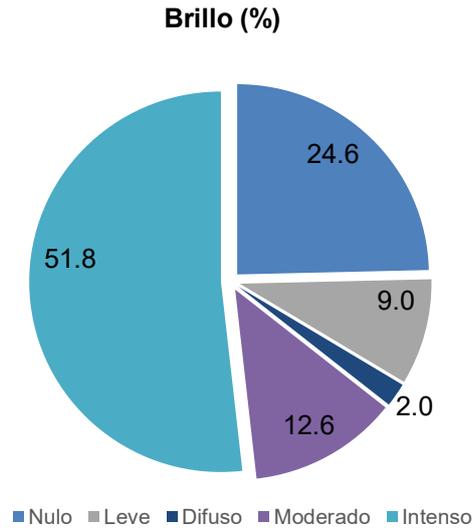


Ilustración 12. Intensidad del brillo.

3.6.5 Visibilidad en millas náuticas.

Consideramos visibilidad en millas náuticas a la distancia en millas a la redonda de la fuente a la que el observador es capaz de detectar un avistamiento ya sea a ojo descubierto o con la ayuda de unos prismáticos. La visibilidad se clasifica como: pobre (<1 km), moderada (1-5km) o buena (> 5 km). Esta quedó representada en la campaña en la siguiente ilustración (13).

La mayoría del esfuerzo se realizó con una visibilidad buena del entorno a las 3-5 millas náuticas.

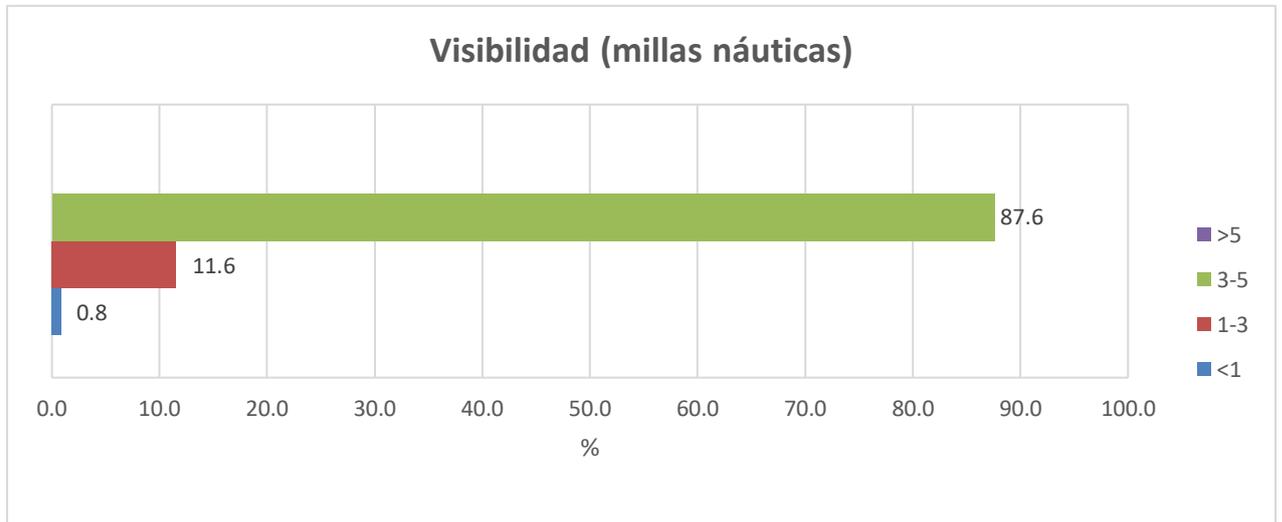


Ilustración 13. Visibilidad en millas náuticas.

3.6.6 Condiciones generales de avistabilidad

Aunando todos los factores anteriormente comentados, se obtienen unas condiciones generales de avistabilidad que quedan reflejadas en la siguiente ilustración (14).

Como consecuencia de valorar todos los factores ambientales se puede considerar que durante la campaña se tuvieron unas condiciones buenas - excelentes para la avistabilidad.



Favorecedoras de la observación de avistamientos en el caso que hubiera presencia de animales.

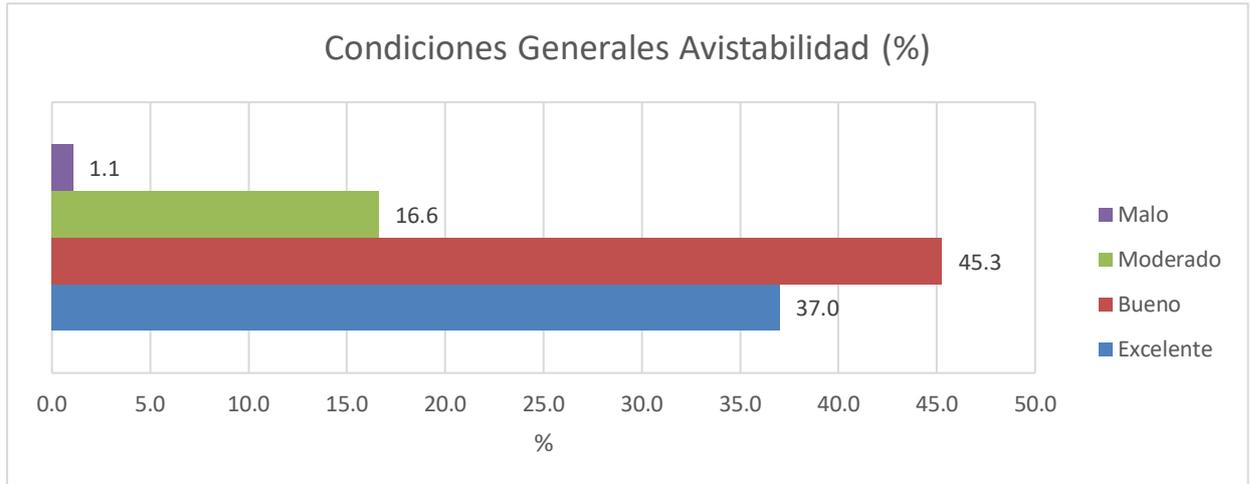


Ilustración 14. Condiciones generales de avistabilidad.

4. RECOMENDACIONES

Derivado de la presente campaña se pone de manifiesto la necesidad de actualizar los protocolos de mitigación para los equipos oceanográficos que no se consideran fuentes sísmicas, debido a las características tan diferentes de estos, tanto en la tipología de emisión de ruido, con haces de gran directividad, que disipan el ruido de forma muy distinta, así como en el método operacional, que dificulta el seguimiento de la fuente de ruido por parte de los observadores, ya que en muchas ocasiones esta es móvil y se pierde la visualización y la Zona de Exclusión.

Se considera que el uso de equipos de seguimiento de acústica pasiva sería un elemento crucial para monitorizar elementos subacuáticos o que se alejen demasiado de la embarcación, pudiendo conectar el GPS del equipo a el software de seguimiento de acústica.

Crear una normativa y recomendaciones específicas de mitigación para campañas de investigación oceanográfica con instrumentación emisora de ruidos submarinos.

5. AGRADECIMIENTOS

Los Observadores de Mamíferos Marinos queremos extender nuestro agradecimiento a la tripulación del B/O Pelagia y a todo el equipo científico, quienes fueron de gran ayuda y apoyo en todo momento. A lo largo de la campaña se mantuvo una relación positiva y profesional entre los observadores y todos los departamentos del buque. Todas las partes trabajaron juntas de manera diligente y cohesiva para garantizar que se cumplieran y cumplimentaran todas las normas de seguridad y los requisitos mínimos establecidos por las pautas de mitigación.



6. BIBLIOGRAFÍA

ACCOBAMS-MOP5/2013/Res.5.15.

ACCOBAMS-MOP5/2013/Res.5.13.

ACCOBAMS-MOP4/2010/Res.4.17.

Buckland, S. T., et al. (2001). Introduction to distance sampling: estimating abundance of biological populations. New York: Oxford University Press.

Buckland, S.T. & A.E. York. (2002). Abundance estimation. Encyclopedia of Marine Mammals, (Perrin, Wursig, Thewissen, eds.), Academic Press, San Diego, pp: 1-6.

Burns, W. C. (2005). Agreement on the Conservation of Cetaceans of the Black Sea, Mediterranean Sea, and contiguous Area (ACCOBAMS): Problems and prospects. Cardiff University (United Kingdom).

Azzellino, A., Gaspari, S., Airoidi, S., y Nani, B. (2008). Habitat use and preferences of cetaceans along the continental slope and the adjacent pelagic waters in the western Ligurian Sea. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 55(3), 296-323.

Camiñas, J. A. (2002). Estatus y conservación de las tortugas marinas en España. Atlas y libro rojo de los anfibios y reptiles de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-AHE, Madrid, 385-420.

Chicote, C.A; Castellote M. (2013). Manual del Técnico de Acústica Pasiva para operaciones Off shore generadoras de ruido en aguas españolas. Fundación Biodiversidad y SUBMON.

Chicote, CA; Castellote, M y Gazo M. (2011). Prospecciones Sísmicas Marinas: acuerdo de medidas de mitigación del efecto en los cetáceos de aguas de españolas e identificación de áreas sensibles. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y SUBMON.

Chicote, C.A; Vazquez, J.A; Cañadas, A y Gazo M. (2013). Manual del Observador de Mamíferos marinos para operaciones Off-shore generadoras de ruido en aguas españolas. Fundación Biodiversidad y SUBMON.

Gannier, A., y Praca, E. (2007). SST fronts and the summer sperm whale distribution in the - west Mediterranean Sea. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 87(1), 187-193.

IUCN (2015). IUCN Red List of Threatened Species. Retrieved June 15, 2015, from IUCN: <http://www.iucnredlis.org>

Joint Nature Conservation Committee (2010, August). Guide to marine mammal forms. Retrieved September 21, 2013, from Joint Nature Conservation Committee: <http://jncc.defra.gov.uk/page-1534>

Joint Nature Conservation Committee (2012). Guide to marine mammal forms. Retrieved July 10, 2012, from JNCC: <http://jncc.defra.gov.uk/page-1534>



Joint Nature Conservation Committee (2017). Guide to marine mammal forms. From JNCC: <http://jncc.defra.gov.uk/page-5167>

MAGRAMA-Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2012). Documento técnico sobre impactos y mitigación de la contaminación acústica marina. Madrid. 146 pp.

Pirotta, E., Matthiopoulos, J., MacKenzie, M., Scott-Hayward, L., y Rendell, L. (2011). Modelling sperm whale habitat preference: a novel approach combining transect and follow data. *Marine Ecology Progress Series*, 436, 257-272.

Praca, E., Gannier, A., Das, K., y Laran, S. (2009). Modelling the habitat suitability of cetaceans: example of the sperm whale in the northwestern Mediterranean Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 56(4), 648-657.

Praca, E., y Gannier, A. (2007). Ecological niche of three teuthophageous odontocetes in the northwestern Mediterranean Sea. *Ocean Science Discussions*, 4(5), 785-815.

Raga, J. A. Y Pantoja, J. (2004). Proyecto mediterráneo. Zonas de especial interés para la conservación de los cetáceos en el Mediterráneo español.

The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2018-1. <http://www.iucnredlist.org>

Anexo I

Tabla de Avistamientos

A continuación se presenta la tabla completa de todos los avistamientos según los requisitos especificados para la campaña CALYPSO, en concordancia a la normativa MAGRAMA 2012.

Durante la presente campaña hubo 7 avistamientos. Todos con la fuente en máxima potencia. Lo que llevó a 1 acción de mitigación, resultando en el apagado de la fuente (*shutdown*).

Avistamiento	Fecha	Hora (UTC)	Posición		Especie	Distancia de la embarcación (metros)	Distancia a la fuente (metros)	Acción de mitigación
			Latitud	Longitud				
1	21/02/2022	16:45:00	41.28465	4.07240	NIDE: Delfín no identificado	900	700	NR: no requerida
2	04/03/2022	17:42:00	40.81813	2.92063	NIcG: Cetáceo grande no identificado	2000	2000	NR: no requerida
3	05/03/2022	7:36:00	40.84685	2.90643	NIDE: Delfín no identificado	2000	50	NR: no requerida
4	08/03/2022	11:29:00	40.95197	2.93710	NIcG: Cetáceo grande no identificado	200	200	AF: apagar fuente
5	08/03/2022	12:44:00	40.95057	2.94327	NIcG: Cetáceo grande no identificado	1000	1000	NR: no requerida
6	08/03/2022	12:53:00	40.94902	2.96167	NIMI: Misticeto no identificado	700	700	NR: no requerida
7	10/03/2022	9:24:00	40.97783	2.80543	Dde: Delphinus delphis	300	20	NR: no requerida

Anexo II

Imágenes de los avistamientos más relevantes



Ilustración 15. Avistamiento #6. Soplo de misticeto no identificado. © Orestes Hidalgo.



Ilustración 16. Avistamiento #7. Salpicón de Delphinus delphis. © Orestes Hidalgo.

Anexo III

Algunos de los transeptos más relevantes realizados durante la campaña.

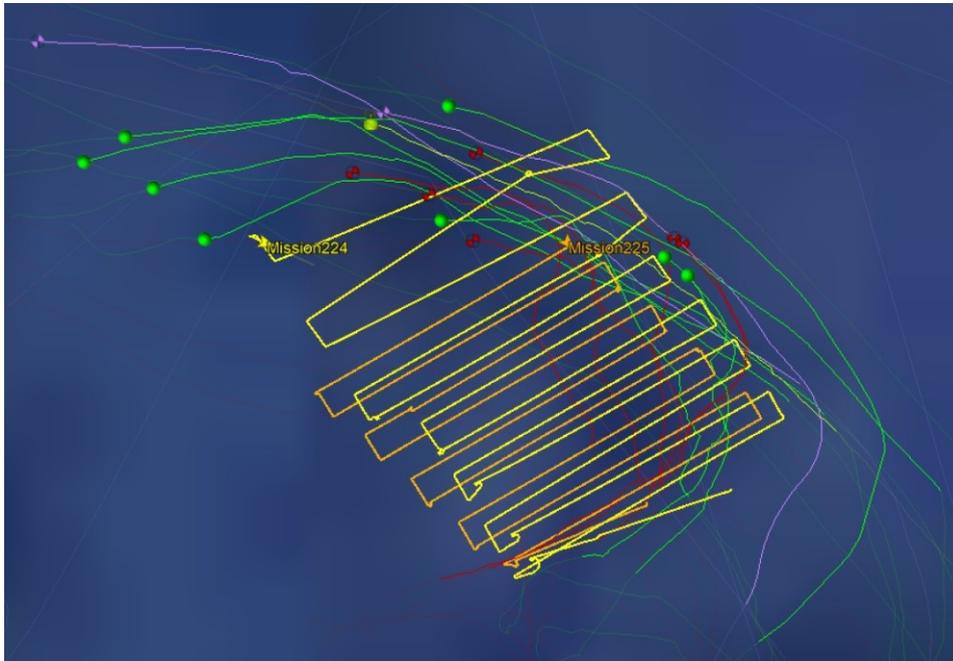


Ilustración 17. En amarillo y naranja se muestran las trayectorias cubiertas por los AUVs superpuestas sobre las trayectorias de varios flotadores desplegados en la zona (representadas sus trayectorias en color verde, rojo, púrpura y verde lima). © Shaun Jhonson.

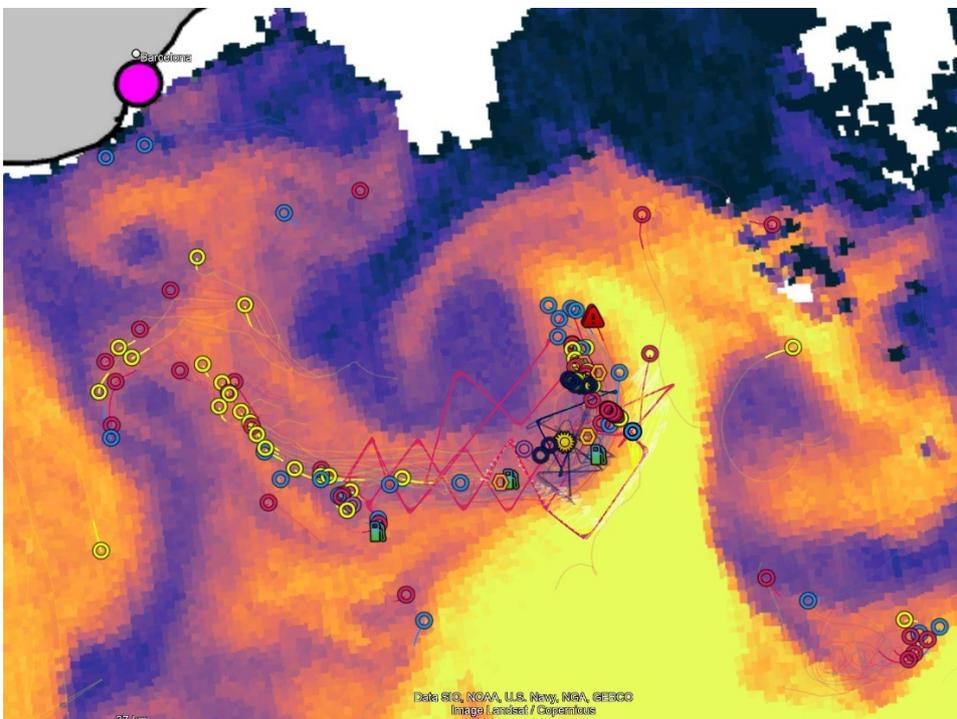


Ilustración 18. Muestra la trayectoria seguida por varios flotadores revelando la estructura de los remolinos (eddies). © Shaun Jhonson.

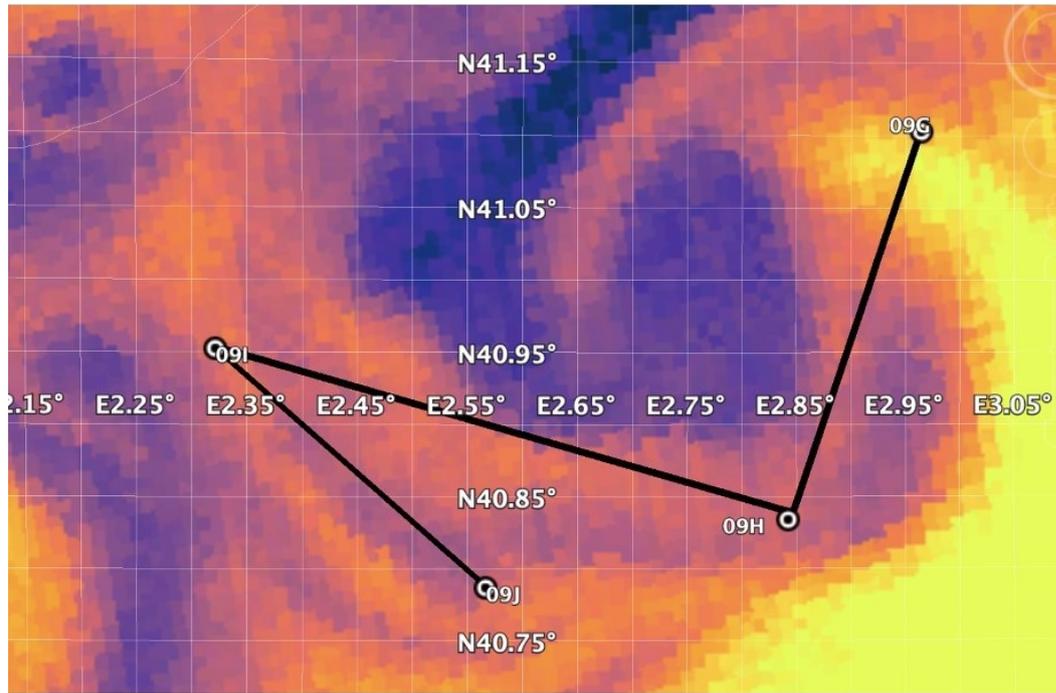


Ilustración 19. Tansecto realizado con UCTD y ADCP en la misma zona de los remolinos. © Shaun Jhonson.

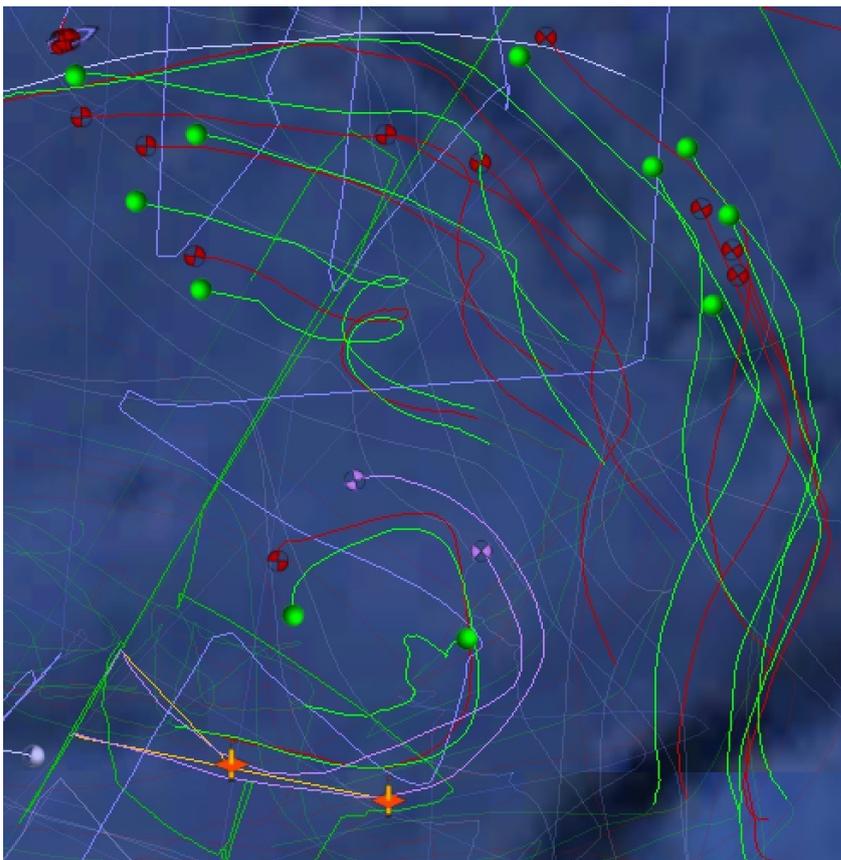


Ilustración 20. Muestra el desplazamiento realizado por varios flotadores durante la campaña. © Shaun Jhonson.

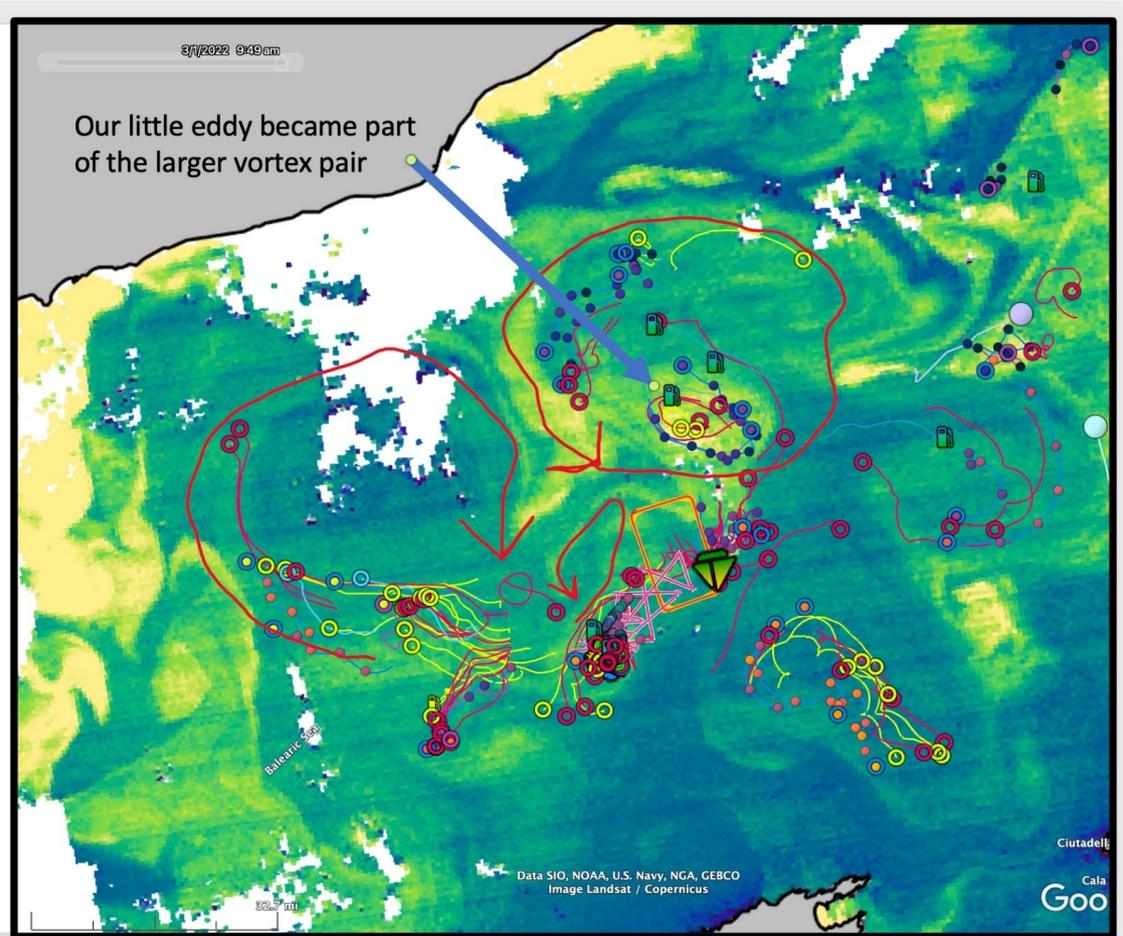


Ilustración 21. Ccorrelación de los desplazamientos realizados por los flotadores con imágenes satelitales en las que se representan los remolinos (zonas de especial interés científica). © Shaun Jhonson.

Appendix B

Modelización acústica submarina Campaña Oceanográfica

CALYPSO 2022



Ciente: University of California San Diego

Proyecto: CALYPSO 2022

Autores:

Pere Artís - pere.artis@keacoustics.com

Marcel Janer

Carla Álvarez - carlachicote@submon.org

Revisión: Pere Artís / Carla Álvarez

Versión: v3 **Fecha:** 30/03/22

UC San Diego



KNOWLEDGE
keacoustics
ENGINEERING

Barcelona
Phone +34 605 431 416

submen
construyendo un futuro marino sostenible



ÍNDICE

1	<u>INTRODUCCIÓN</u>	4
1.1	RESUMEN DEL PROYECTO	4
1.2	MÉTRICAS ACÚSTICAS	5
1.2.1	NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA	6
1.2.2	NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA PICO	6
1.2.3	NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA RMS	6
1.2.4	NIVEL DE EXPOSICIÓN SONORA SEL	7
1.3	CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE RUIDO SUBMARINO	7
1.3.1	FUNCIONES PONDERADAS	10
1.3.2	CLASIFICACIÓN DE LOS GRUPOS AUDITIVOS DE MAMÍFEROS MARINOS	10
1.3.3	ENMASCARAMIENTO AUDITIVO	13
1.3.4	CAMBIOS DE COMPORTAMIENTO	14
1.3.5	PÉRDIDA TEMPORAL DE AUDICIÓN (TTS) Y PÉRDIDA TOTAL DE AUDICIÓN (PTS)	16
1.3.6	DAÑOS A TEJIDOS DEL ANIMAL Y MORTALIDAD	21
2	<u>MÉTODOS DE CÁLCULO</u>	23
2.1	PROPAGACIÓN ACÚSTICA SUBACUÁTICA	23
2.2	TRAYECTORIAS DE PROPAGACIÓN ACÚSTICA SUBACUÁTICA	24
2.3	MODELOS DE PROPAGACIÓN ACÚSTICA SUBACUÁTICA	25
2.4	SEL	26
3	<u>MODELADO DE PROPAGACIÓN ACÚSTICA</u>	26
3.1	CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE RUIDO	26
3.1.1	PERFIL DE VELOCIDAD DEL SONIDO	30
3.1.2	PROPIEDADES DEL AGUA	31
(1)	SUPERFICIE MARINA	31
(2)	ABSORCIÓN DEL AGUA	31
3.1.3	PARÁMETROS DEL FONDO MARINO	32
3.1.4	BATIMETRÍA	33
3.2	RUIDO DE FONDO	34
3.3	METODOLOGÍA	36
4	<u>RESULTADOS DE LA MODELIZACIÓN ACÚSTICA SUBACUÁTICA</u>	37
4.1	ADCP LONGRANGER Y SENTINEL	37



4.2	LAGRANGIAN Y TRACKPOINT II	46
5	RESUMEN Y CONCLUSIONES	48
6	BIBLIOGRAFÍA	49



1 INTRODUCCIÓN

1.1 RESUMEN DEL PROYECTO

Este informe ha sido preparado por KEACOUSTICS® y SUBMON® a petición de la Universidad de San Diego con el fin de obtener unos valores modelizados del alcance del ruido producido por la campaña oceanográfica CALYPSO.

Durante la campaña oceanográfica se utilizarán perfiladores de corriente en base al efecto doppler, ADCP, instalados en el buque PELAGIA.

El área de estudio, que se muestra en la Figura 1, se ubica en el mar Balear. En la misma figura se pueden observar el transepto de la campaña, que se llevará a cabo del 19 de febrero del 2022 al 12 de mayo del 2022.



Figura 1 Mapa de la ruta del buque RV PELAGIA. Fuente: documentación proporcionada por el cliente

El propósito del estudio es proporcionar suficientes datos para evaluar los impactos sobre los mamíferos marinos debidos a los niveles de ruido producidos por dichas fuentes, y proponer las medidas de mitigación correctas, en caso necesario.

El cumplimiento del permiso emitido por la SUBDIRECCIÓN GENERAL DE BIODIVERSIDAD TERRESTRE Y MARINA de la DIRECCIÓN GENERAL DE BIODIVERSIDAD, BOSQUES Y DESERTIFICACIÓN para operar en aguas españolas (N/REF: CO/21/29) requiere de una modelización acústica de la propagación acústica subacuática, cuya finalidad es predecir el ruido submarino, generado por las fuentes de ruido utilizadas en la campaña oceanográfica y propagado por el volumen de agua. Dicho permiso estableció que el nivel máximo permitido de la fuente no excediera los 160dB RMS y en



caso de que se sobrepasara ese límite se establecieran las medidas de mitigación correspondientes.

Siguiendo las recomendaciones de ACCOBAMS (Acuerdo sobre la Conservación de los Cetáceos del Mar Negro, el Mar Mediterráneo y la Zona Atlántica Contigua) y del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) se realiza una modelización que permita evaluar el impacto por zonas, fuentes y especies, así como establecer una zona de exclusión dinámica. Mediante los valores de la predicción en la propagación acústica, se definen unas distancias de seguridad a la fuente de ruido para garantizar el cumplimiento de los límites estándares y los criterios de respuesta de comportamiento de la fauna marina presentes en dicha área.

A continuación, el presente documento se centra en la descripción de las métricas de ruido y el criterio elegido para evaluar los impactos sobre cetáceos. En la sección 2 se detalla la metodología para obtener los valores de propagación acústica. En la sección 3 se describe el modelado de la propagación acústica, consistente en las fuentes de ruido, los parámetros ambientales y geofísicos de la zona bajo estudio. La sección 4 presenta los resultados de la modelización acústica en formato gráfico y tabular de todas las distancias de seguridad calculadas por los diferentes índices acústicos y ponderaciones frecuenciales según el estado del arte. El documento finaliza con la presentación de las conclusiones.

1.2 MÉTRICAS ACÚSTICAS

La elección de la métrica a la hora de establecer un valor de cálculo del nivel de exposición sonora no es siempre una elección fácil, depende de muchos factores. En el siguiente apartado se resumen y analizan las diferentes opciones planteadas por las guías y autores actuales.

La mayoría de las mediciones de TTS de los mamíferos marinos son para individuos expuestos a un número limitado de fuentes de sonido (es decir, principalmente tonos y ruido en bandas de octava) en entornos de laboratorio. Se necesitan mediciones de la exposición a fuentes sonoras reales en condiciones más realistas.

La exposición al sonido que contiene componentes transitorios (por ejemplo, de corta duración y gran amplitud, sonidos impulsivos) puede crear un mayor riesgo de causar fatiga mecánica directa al oído (en oposición a los estrictamente metabólicos) en



comparación con los sonidos que son estrictamente no impulsivos (Henderson y Hamernik 1986; Levine et.al 1998; Henderson et. al 2008).

Muchas métricas acústicas (por ejemplo, RMS o pico SPL, SEL) podrían considerarse en relación con los impactos de ruido en los animales.

1.2.1 NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA

El Nivel de Presión Acústica (SPL) es una medida logarítmica de la presión sonora relativa a un valor de referencia P_{ref} .

$$L_p = 20 \log_{10} \left(\frac{P}{P_{ref}} \right), \quad (1)$$

donde P es la presión en Pascales y $P_{ref} = 1 \mu Pa$ es la presión de referencia.

1.2.2 NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA PICO

Para los pulsos de presión transitorios, el nivel de presión acústica pico es el valor absoluto máximo de la presión acústica instantánea registrada en un determinado intervalo de tiempo.

$$L_{zero-peak} = 20 \log_{10} \left(\frac{P_{peak}}{P_{ref}} \right). \quad (2)$$

Cuando las partes positiva y negativa del pulso son aproximadamente iguales a la forma de onda, el nivel pico a pico es igual al doble del nivel de pico o 6 dB superior.

1.2.3 NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA RMS

El Nivel de Presión Acústica RMS (Raíz Cuadrática Media), que se utiliza para cuantificar el ruido de naturaleza continua, es el nivel de presión cuadrática media medido durante un intervalo de tiempo T , y representa una medición del nivel medio de presión acústica en el tiempo.

En situaciones de ruido transitorio o impulsivo, el periodo de tiempo durante el cual se calcula la media de las mediciones debe estar referenciado, ya que el valor RMS



variará con el periodo de tiempo de cálculo de la media. En cambio, cuando el ruido es continuo, el periodo de tiempo durante el cual se realizan las mediciones no es relevante, puesto que la medición dará siempre el mismo resultado.

$$L_{RMS} = 20 \log_{10} \left(\frac{P_{RMS}}{P_{ref}} \right). \quad (3)$$

1.2.4 NIVEL DE EXPOSICIÓN SONORA SEL

El Nivel de Exposición Sonora se utiliza para superar los problemas asociados con el periodo de tiempo durante el cual se calcula el Nivel medio de Presión Acústica. El Nivel de Exposición Sonora es la integral temporal del cuadrado de la presión acústica durante un periodo de tiempo lo suficientemente prolongado para que incluya el pulso de presión completo.

$$SEL = 10 \log_{10} \int_0^T \frac{p^2(t) dt}{P_{ref}^2}. \quad (4)$$

1.3 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE RUIDO SUBMARINO

A la hora de evaluar los efectos del ruido submarino sobre el ecosistema y los organismos que lo componen hay que tener en cuenta varios factores: el nivel sonoro sobre el receptor, tanto en valor total (banda ancha) como su distribución en frecuencias, su duración y frecuencia de repetición del sonido, o el ciclo de operación de la fuente sonora.

Los cetáceos son, en general de las especies más sensibles a los efectos del ruido artificial (Richarson et. al 1995), que se sabe les produce daños fisiológicos directos según se ha estudiado en diferentes especies y en relación con distintas fuentes de ruido (Nachtigall et al. 2004; Finneran et al. 2002; Schlundtet al. 2000). Además, el ruido artificial produce cambios en el umbral de detección, enmascaramiento de señales acústicas y cambios comportamentales (Richarson et. al 1995; Finneran 2000; McCauly et. al, 2003; Southall 2007; Diederichs et.al 2008).

Aunque la mayoría de estudios de impacto de la contaminación acústica en el medio marino se centran en los cetáceos por el elevado uso que éstos hacen de las emisiones sonoras, se ha demostrado que el ruido también afecta a las tortugas



marinas, aunque de un modo distinto, debido a las características anatómicas y fisiológicas de estos animales. McCauly *et al.* (2002) estudiaron la respuesta de tortugas verdes (*Cheloniemydas*) y bobas (*Carettacaretta*) en cautividad a pulsos sísmicos experimentales. Los resultados revelaron cambios significativos en el comportamiento de natación de las tortugas y crecientes movimientos de evitación desde niveles de 166 a 175 dB re1 μ Pa RMS. Asimismo, cita también el resultado de análisis neurofisiológicos a tortugas bobas que indicaron daños fisiológicos temporales (TTS) hasta 2 semanas después de experimentos en los que los animales fueron sometidos a pulsos sísmicos de 175 a 179 dB re 1 μ Pa.

Una variable importante al evaluar los efectos del ruido es el umbral de audición de los organismos marinos, ya que hay algunos que aparentemente dependen del nivel de ruido recibido por encima del umbral de audición de la especie o grupo en concreto. Este nivel, llamado nivel percibido o dBht (*especie*) tiene como base metodológica que no todos los organismos son igualmente sensibles a diferentes niveles y diferentes frecuencias, y por tanto hay que evaluar especie por especie o grupo por grupo (Nedwelle *et al.*, 2004).

La capacidad de escuchar sonidos varía según el rango de audición de una especie. La mayoría de los audiogramas de mamíferos tienen una "forma de U" típica, y las frecuencias en la parte inferior de la "U" son aquellas a las que el animal es más sensible, en términos de audición (es decir, el mejor rango de audición del animal; por ejemplo, audiograma) (Figura 2). Las funciones de ponderación auditiva reflejan mejor la capacidad de un animal para escuchar un sonido (y no reflejan necesariamente como un animal percibirá y reaccionará conductualmente a ese sonido). Para reflejar una mayor sensibilidad auditiva en determinadas frecuencias, los sonidos a menudo se ponderan.

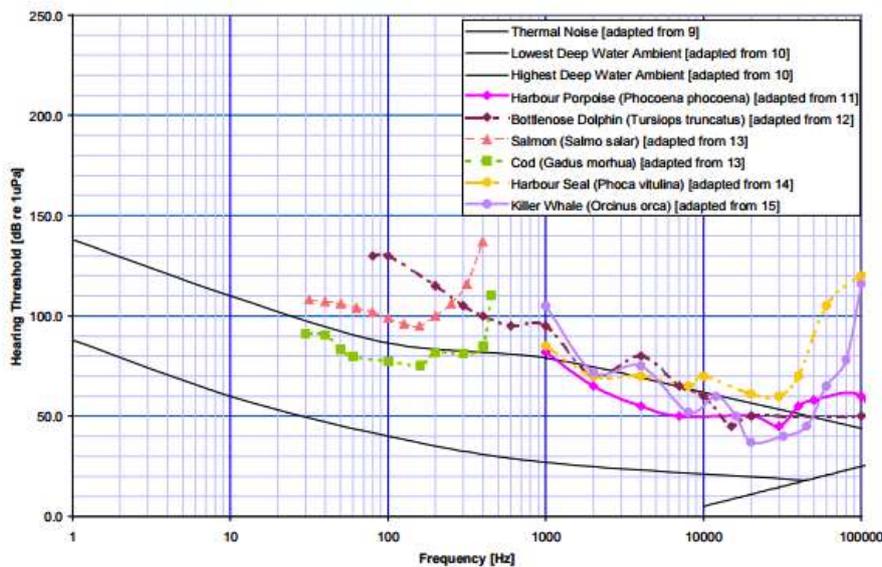


Figura 2 Audiogramas de diferentes especies de peces y mamíferos marinos con referencia al ruido ambiente (Fuente: Nedwell et al., 2004).

También se utiliza la variable de presión sonora recibida, SPL (Sound Pressure Level) a nivel de receptor, en dB re 1µPa y en general integrado en banda ancha. Este criterio suele ser legislativo en algunos países y se usa sobre todo como umbral para la evaluación de los efectos del ruido en el comportamiento.

Otro criterio de uso común es el de Nivel de Exposición al Sonido (SEL) (Southall et al., 2007), que es una medida de la energía recibida por el receptor que integra intensidad recibida y tiempo. La base es que un mismo tipo de efecto puede ser producido por sonidos de intensidad y duración inversa, es decir alta intensidad en dB y baja duración de exposición o viceversa, concepto usado en higiene y salud industrial para seres humanos.

Los efectos que el ruido puede producir en los organismos marinos se pueden clasificar desde cambios de comportamiento (evitación, alimentación, reproducción, etc.), cambios fisiológicos temporales, enmascaramiento, pérdida temporal de audición (**TTS**, por sus siglas en inglés "Temporary Threshold Shifts"), daños permanentes a tejidos y/o pérdida permanente de audición (**PTS**, por sus siglas en inglés "Permanent Threshold Shifts") y mortalidad de los organismos.



1.3.1 FUNCIONES PONDERADAS

Las funciones ponderadas para los humanos se han derivado de versiones idealizadas de funciones de igual volumen, que describen la percepción de la amplitud relativa del sonido en el rango de frecuencia del oído humano (Fletcher & Munson, 1933; Yost, 2000; Houser et al., 2017). A los sujetos experimentales se les pidió que compararan sonidos de varias frecuencias y niveles con un sonido de nivel conocido en una frecuencia de referencia. La familia de curvas resultante define la percepción humana de la sonoridad. El sistema auditivo de los humanos no es lineal, y su sensibilidad depende fuertemente de la frecuencia. Los sonidos graves (baja frecuencia) son percibidos con mayor sensación de sonoridad que los sonidos agudos (alta frecuencia). Este comportamiento viene caracterizado por las ponderaciones frecuenciales, las A y C siendo las más ampliamente utilizadas en humanos. Por ejemplo, la ponderación A para los seres humanos quita énfasis a las frecuencias por debajo de 1 kHz y por encima de 6 kHz en función de la inversa de la función auditiva idealizada (suavizada) de 40 fones en todas las frecuencias, estandarizada a 0 dB a 1 kHz (por ejemplo, Harris 1998). La ponderación C se corresponde con la inversa de la curva de sonoridad a 70 fones, uniforme de 50 Hz a 5 kHz (ANSI 2001).

Se han propuesto funciones de ponderación auditiva para mamíferos marinos, específicamente asociadas con los umbrales de daños auditivos permanentes (PTS) que tiene en cuenta lo que se sabe sobre la audición de mamíferos marinos (Southall et al. 2007; Erbe et al. 2016). El Informe técnico de Finneran (Finneran 2016) desarrolló funciones de ponderación auditiva de mamíferos marinos que reflejan nuevos datos respecto a los que presentó Southall en 2007.

1.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS GRUPOS AUDITIVOS DE MAMÍFEROS MARINOS

No todas las especies de mamíferos marinos tienen la misma capacidad auditiva, en términos de sensibilidad auditiva absoluta y de la banda de frecuencia de la audición (Richardson et al. 1995; Wartzok and Ketten 1999; Southall et al. 2007; Au and Hastings 2008).

Para reflejar mejor la capacidad auditiva de los mamíferos marinos, Southall et al. (2007) recomendó que los mamíferos marinos se dividieran en grupos auditivos. La aplicación de grupos auditivos de mamíferos marinos tiene varias aplicaciones. En primer lugar, los umbrales se dividen por grupo de audición para reconocer que no



todas las especies de mamíferos marinos tienen la misma audición o susceptibilidad a la pérdida de audición inducida por ruido (NIHL-noise-induced hearing loss). Fuera del rango de audición generalizado, el riesgo de impactos auditivos de los sonidos se considera altamente improbable o muy bajo (la excepción sería si un sonido por encima o por debajo de este rango tiene el potencial de causar lesiones físicas, es decir, lesiones pulmonares o del tracto gastrointestinal, como explosivos bajo el agua). En segundo lugar, los grupos de audición de mamíferos marinos se utilizan en el establecimiento de funciones de ponderación auditiva de mamíferos marinos.

A continuación se resume la clasificación de los grupos auditivos que han realizado el National Marine Fisheries Service de la Agencia Americana Atmosférica y Oceanográfica (NOAA) en 2018 y Southall y colaboradores en 2019, donde se revisaron las especies y rangos de audición de los grupos auditivos de Southall 2007 (Tabla 1).

		Grupos de audición de mamíferos marinos.		Rango de audición generalizado *
NMFS 2018	LF (Low-frequency)	Cetáceos mysticetos		7 Hz to 35 kHz
	(MF) Mid-frequency	cetáceos (delfines, odontocetos, zifios, ballenas picudas)		150 Hz to 160 kHz
	(HF) High-frequency	cetáceos (marsopas, <i>Kogia</i> , delfines de río, cephalorhynchid, <i>Lagenorhynchus cruciger</i> & <i>L. australis</i>)		275 Hz to 160 kHz
	(PW) (underwater)	Pinípedos fócidos (focas)		50 Hz to 86 kHz
	(OW) (underwater)	Pinípedos otáridos (leones marinos y osos marinos)		60 Hz to 39 kHz
* Representa el rango de audición generalizado para todo el grupo como un compuesto (es decir, todas las especies dentro del grupo), donde los rangos de audición de las especies individuales generalmente no son tan amplios. Rango de audición generalizado elegido en base a un umbral de ~ 65 dB del audiograma compuesto normalizado, con la excepción de los límites inferiores para cetáceos LF (Southall et al. 2007) y PW pinnípedos (aproximación).				
Southall 2019	LF (Low-frequency)	Balaenidae (<i>Balaena</i> , <i>Eubalaenidae</i> spp.); Balaenopteridae (<i>Balaenoptera physalus</i> *, <i>B. musculus</i> *) Balaenopteridae (<i>Balaenoptera acutorostrata</i> , <i>B. bonaerensis</i> , <i>B. borealis</i> , <i>B. edeni</i> , <i>B. omurai</i> ; <i>Megapteranovae angliae</i>); Neobalenidae (<i>Caperea</i>); Eschrichtiidae (<i>Eschrichtius</i>)		Apéndice 1*: 0.01-24kHz (*) Rango de audición y vocalización muy bajo, en general no supera los 2kHz, Southall propone VLF (Muy baja frecuencia)
	HF (High-frequency)	Physeteridae (<i>Physeter</i>); Ziphiidae (<i>Berardius</i> spp., <i>Hyperoodon</i> spp., <i>Indopacetus</i> , <i>Mesoplodon</i> spp., <i>Tasmacetus</i> , <i>Ziphius</i>); Delphinidae (<i>Orcinus</i>) Delphinidae (<i>Delphinus</i> , <i>Feresa</i> , <i>Globicephala</i> spp., <i>Grampus</i> , 2 <i>Lagenodelphis</i> , <i>Lagenorhynchus acutus</i> , <i>L. albirostris</i> , <i>L. obliquidens</i> , <i>L. obscurus</i> , <i>Lissodelphis</i> spp., <i>Orcaella</i> spp., <i>Peponocephala</i> , <i>Pseudorca</i> ,		Apéndice 2*: 0.1kHz-165kHz



	<i>Sotalia</i> spp., <i>Sousa</i> spp., <i>Stenella</i> spp., <i>Steno-</i> <i>Tursiops</i> spp.); <i>Montodontidae</i> (<i>Delphinapterus</i> , <i>Monodon</i>); <i>Plantanistidae</i> (<i>Plantanista</i>)	
VHF (Very High- frequency)	<i>Delphinidae</i> (<i>Cephalorhynchus</i> spp.; <i>Lagenorhynchus</i> <i>cruciger</i> , <i>L. australis</i>); <i>Phocoenidae</i> (<i>Neophocaena</i> spp., <i>Phocoena</i> spp., <i>Phocoenoides</i>); <i>Iniidae</i> (<i>Inia</i>); <i>Kogiidae</i> (<i>Kogia</i>); <i>Lipotidae</i> (<i>Lipotes</i>); <i>Pontoporiidae</i> (<i>Pontoporia</i>)	Apéndice3*: 0.3kHz-200kHz
SI (Sirenians)	<i>Trichechidae</i> (<i>Trichechus</i> spp.); <i>Dugongidae</i> (<i>Dugong</i>)	Apéndice4*:
PCW (Phocid carnivores in water) PCA (Phocid carnivores in air)	<i>Phocidae</i> (<i>Cystophora</i> , <i>Erignathus</i> , <i>Halichoerus</i> , <i>Histiophoca</i> , <i>Hydrurga</i> , <i>Leptonychotes</i> , <i>Lobodon</i> , <i>Mirounga</i> spp., <i>Monachus</i> , <i>Neomonachus</i> , <i>Ommatophoca</i> , <i>Pagophilus</i> , <i>Phocas</i> spp., <i>Pusas</i> spp.)	Apéndice5*:
OCW Other marine carnivores in water OCA Other marine carnivores in air	<i>Odobenidae</i> (<i>Odobenus</i>); <i>Otariidae</i> (<i>Arctocephalus</i> spp., <i>Callorhinus</i> , <i>Eumetopias</i> , <i>Neophoca</i> , <i>Otaria</i> , <i>Phocarctos</i> , <i>Zalophus</i> spp.); <i>Ursidae</i> (<i>Ursus maritimus</i>); <i>Mustelidae</i> (<i>Enhydra</i> , <i>Lontra feline</i>)	Apéndice6*:

*El número de Apéndice corresponde a los rangos y especies evaluados por Southall 2019 y pueden consultarse en el artículo gratuito https://www.aquaticmammalsjournal.org/index.php?option=com_hikashop&ctrl=product&task=show&cid=1402&name=vol-45-iss-2-southall

Tabla 1 Propuestas de los grupos auditivos de mamíferos marinos realizadas por el NMFS (2016) y Southall (2019). Adaptación SUBMON

Para cada grupo se establecen diferentes funciones de ponderación según distintos autores, lo que se cree que es la mejor estimación de la audición para el grupo auditivo propuesto, como una función de la frecuencia.

En las frecuencias en las que un animal tiene una audición más sensible, es probable que sea más susceptible a los efectos auditivos de la exposición al ruido porque la diferencia relativa entre el ruido y el umbral de audición (a menudo llamado nivel de sensación) es mayor para el mismo nivel de exposición que para las frecuencias en las que el animal tiene una audición menos sensible.

Es decir, si bien pueden ocurrir efectos en frecuencias fuera del rango de mejor sensibilidad auditiva de un animal, existe una relación general entre la sensibilidad auditiva y la susceptibilidad a la exposición al ruido, lo que permite que las conclusiones relacionadas con la dependencia de la frecuencia de las capacidades auditivas informen aproximadamente las evaluaciones de susceptibilidad a los posibles efectos auditivos (Yost, 2007). Las funciones de ponderación auditiva sirven como filtros específicos de frecuencia que cuantifican cómo el ruido puede afectar a un animal dado su contenido espectral y cómo se relaciona con las características espectrales del potencial de la susceptibilidad potencial de un individuo al ruido. Las



funciones de ponderación se utilizan para restar énfasis al ruido en frecuencias donde la susceptibilidad es menor.

La Figura 3 representa la curva de audición ponderada para las diferentes clasificaciones de grupos auditivos, que se traduce en una sensibilidad de los animales a las diferentes frecuencias.

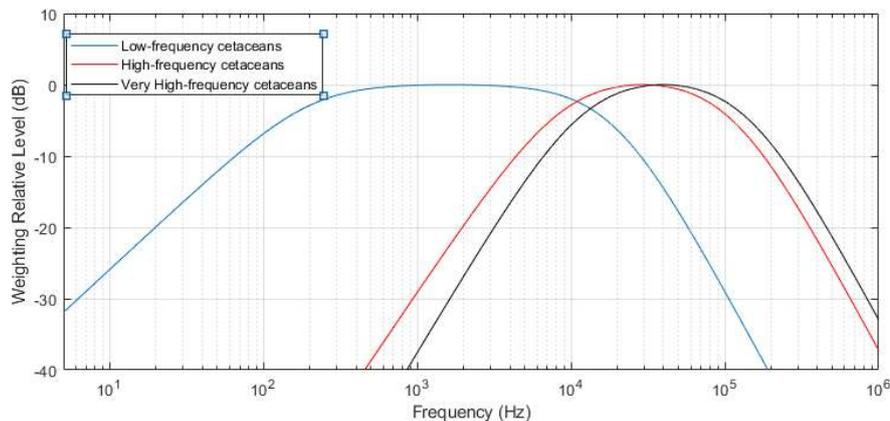


Figura 3 Función de las ponderaciones frecuenciales según Southall 2019 para ls grupos de cetáceos LF, HF y VHF

1.3.3 ENMASCARAMIENTO AUDITIVO

El enmascaramiento auditivo, también llamada interferencia acústica, es la que mayor área teórica presenta alrededor de la fuente de sonido. Algunas especies utilizan el sonido para comunicarse, navegar o localizarse, encontrar y capturar presas, huir de predadores, etc., por lo que ruidos que tengan la misma potencia y/o firma espectral que los que utilizan estas especies pueden enmascarar los emitidos y percibidos por ellas y dificultarles alguna de estas actividades, con los posibles efectos secundarios de mayor gasto de energía, menor tasa de éxito reproductivo, etc.

El enmascaramiento sucede cuando las frecuencias de la fuente artificial y la natural son muy similares. Los pulsos sísmicos se encuentran generalmente en el ancho de banda de bajas frecuencias, por lo que los cetáceos que más empleen estas frecuencias, y que tengan en ellas una mejor audición, como los misticetos, serán previsiblemente los más afectados por este fenómeno (Gordon et. al 2003).

La mayoría de las vocalizaciones de los misticetos están por debajo 1 kHz y algunos, como la ballena azul (*Balaenoptera musculus*) y el rorcual común (*Balaenoptera physalus*) realizan predominantemente sus "llamadas" en este rango (Clark 1998).



Un reciente estudio realizado por Castellote et. al 2012 proporciona evidencia de que machos de rorcual común modifican las características del canto bajo condiciones de aumento de ruido de fondo, y que bajo condiciones de actividad sísmica pueden abandonar el área por un período prolongado.

Con respecto a los peces, parece que los efectos podrían ser más complejos que en los mamíferos, debido a la posibilidad de que estos organismos cuenten con sistemas de receptores múltiples de presión (línea lateral) (Popper y Fay, 1973). Además, los efectos del sonido antropogénico solo se han estudiado en un pequeño grupo de peces en comparación con los miles de especies existentes de modo que la extrapolación de los resultados observados para otros grupos debe hacerse con prudencia, sobre todo al ser aplicados a especies distantes taxonómicamente (Popper y Hastings, 2009).

1.3.4 CAMBIOS DE COMPORTAMIENTO

Los cambios de comportamiento en general se consideran el siguiente nivel de efectos de ruido recibido, y consecuentemente la siguiente zona de menor radio de afección desde la fuente. Los cambios de comportamiento incluyen una variedad grande de fenómenos, tales como evitación de la fuente, aumento o disminución de las tasas de respiración, aumento o disminución de la velocidad de nado, cese de sus actividades actuales (alimentación, amamantamiento, cría), efectos indirectos sobre el metabolismo (stress, etc.) , mayor gasto energético.

Muchos estudios han medido cambios en el comportamiento de los cetáceos en respuesta a una exposición a una fuente de prospección sísmica, demostrando reacciones muy diversas en diferentes especies, e incluso entre individuos diferentes de una misma especie.

Muchos estudios han medido cambios en el comportamiento de los cetáceos en respuesta a una exposición a una fuente de ruido, demostrando reacciones muy diversas en diferentes especies, e incluso entre individuos diferentes de una misma especie. Un cambio a corto plazo en el comportamiento o la fisiología puede no ser necesariamente importante desde el punto de vista biológico y, por lo tanto, no puede ser asumido que cada cambio en el comportamiento en respuesta a una perturbación acústica conduce a un cambio en la salud o en las tasas vitales de un animal o población. Tampoco se puede asumir que debido a que un animal o una población muestran poca o ninguna respuesta, no son vulnerables. Incluso los cambios



prolongados en el comportamiento podrían no tener repercusiones a largo plazo en la población (Erbe et. al 2018).

El NMFS (1985) estableció el nivel de 160 dB $1\mu\text{Pa}$ RMS como la zona de seguridad, en la que se enmarca un comportamiento de huida. En la revisión del 2016 y posterior actualización en el 2018 no actualizaron dichos niveles.

Southall 2019 tampoco revisa los niveles de comportamiento en su actualización y se mantienen los de 2007. Se propone SEL0=120-180 dB re $1\mu\text{Pa}$ como umbral para una alteración significativa del comportamiento debido a múltiples sonidos explícitamente impulsivos.

Para eventos de pulso único se proponen usar los valores de inicio SELTS de [Lucke et al., 2009] como umbral de perturbación en el comportamiento significativo debido a sonidos individuales explícitamente impulsivos (Dekeling et al 2016).

En tortugas marinas, McCauley et al. (2002) estudiaron las respuestas de tortuga boba (*Carettacaretta*) y tortuga verde (*Cheloniemydas*) mantenidas en cautividad, a pulsos sísmicos experimentales y los resultados mostraron cambios significativos en el comportamiento de natación de las tortugas y crecientes movimientos de probable evitación desde niveles de 166 a 175 dB re $1\mu\text{Pa}$ RMS. Otros estudios realizados durante campañas sísmicas (Weir, 2007; DeRuiter y Doukara, 2010) también observaron comportamientos evasivos por parte de las tortugas, pero no pudieron afirmar si dichos comportamientos respondían a la mera presencia del buque y la instrumentación largada por popa (Weir, 2007), o a los cañones de aire trabajando a plena potencia, ya que en este último caso si se comprobó una respuesta de sobresalto (inmersión rápida) pero no se pudo distinguir con claridad la fuente de estímulo, ya que no se realizó un control con los cañones de aire apagados (DeRuiter y Doukara, 2010).

En el caso de los peces se ha constatado que el ruido producido por las embarcaciones pesqueras ahuyenta a algunas especies, y que un ruido continuo de construcción submarina de 90 dB a 160 m de la fuente (unos 125 dB a 1 m) produce cierto tipo de reacciones de alejamiento no cuantificadas (Konagaya et al., 1980). Frente a los insuficientes datos de campo para documentar estos efectos, hay numerosos datos que muestran que los peces permanecen en zonas de altos niveles de ruido de fondo. También cabe destacar los resultados obtenidos en estudios de comportamiento realizados a peces enjaulados y a peces en libertad, determinan que los primeros no tienen por qué representar el comportamiento de los segundos, ya que no se puede observar los movimientos de los peces en libertad en sus zonas de alimentación y cría cuando son sometidos a sonidos antropogénicos como los de las



prospecciones sísmicas (Popper y Hastings, 2009). Lo que sí se ha visto es que tras el uso de fuentes sísmicas, la tasa de captura de especies demersales, concretamente de abadejo *Melanogrammus aeglefinus* y de bacalao del Atlántico *Gadus morhua*, sufrió un descenso considerable durante 5 días tras el uso de la fuente sísmica, pero pasados estos días la tasa de capturas volvió a sus cuotas habituales (Engås et al., 1993), así como que fundamentalmente en las especies demersales y bentónicas, con poca capacidad de evitación de la perturbación sonora, los niveles y la duración de las exposiciones al sonido puede causar diversos efectos como una disminución o pérdida de la capacidad auditiva, que puede ser recuperada en periodos de tiempo que oscilan desde los pocos minutos hasta varios días, una vez finalizada la exposición (Popper y Hastings, 2009). Por otro lado, Wardle et al. (2001) constataron pequeños cambios de comportamiento en peces e invertebrados en zonas rocosas de Escocia tras la exposición a picos sonoros de 210 dB re 1 μ Pa a 16 m de la fuente sísmica y de 195 dB re 1 μ Pa a 109 m, pero estos cambios no fueron en ningún caso permanentes y los animales no sufrieron daños fisiológicos ni abandonaron el área de estudio.

En cuanto a los crustáceos son muy pocos los estudios realizados para observar el impacto del sonido emitido por fuentes sísmicas, en concreto por cañones de aire. Entre 1978 y 2004 se realizó un estudio en Australia sobre la influencia de los cañones de aire en langostas de roca determinándose que éstas causaban un pequeño efecto fisiológico reflejado en una pequeña reducción de capturas (Parry y Gason 2006). Por otro lado, Legardère (1982) observó que el camarón *Crangon crangon* sufría una disminución del crecimiento y de la tasa de reproducción frente un aumento de 30 dB por encima del ruido ambiental durante tres meses.

Por esto se hace muy difícil establecer unos límites acústicos en este sentido que sean realmente eficaces en la mitigación.

1.3.5 PÉRDIDA TEMPORAL DE AUDICIÓN (TTS) Y PÉRDIDA TOTAL DE AUDICIÓN (PTS)

La pérdida temporal de audición (TTS) se presenta ante la exposición de los organismos a niveles altos o continuos de ruido, con una recuperación posterior de la audición en un tiempo variable. Igualmente se puede perder audición por exposición a niveles menores durante un tiempo mayor. La pérdida de audición, temporal o permanente depende de la intensidad y duración del sonido (el concepto SEL anticipado en párrafos anteriores). Si las pérdidas temporales de audición son repetidas, el nivel de sonido que las produce constante, o se producen niveles



puntuales excepcionalmente altos de ruido, la pérdida temporal de audición puede convertirse en permanente (PTS) parcial o total.

Los estudios y experimentos relacionados con la pérdida de audición temporal o permanente se han centrado en odontocetos y peces, debido a la posibilidad de experimentar en cautividad.

En el caso de los mamíferos marinos, por motivos éticos evidentes no se ha sometido a los animales a niveles de ruido que pudieran producir pérdida permanente del oído, por lo que los umbrales son extrapolaciones con los valores detectados en humanos (Southall, 2007).

La audición se ha medido directamente en algunas especies de odontocetos y pinnípedos (véanse las revisiones en Southall et al. 2007; Erbe et al. 2016; Finneran 2016), pero no hay mediciones directas de la audición de los mysticetos. Por lo tanto, las predicciones de la audición de los mysticetos se basan en otros métodos que incluyen: estudios y modelos anatómicos (Houser et al. 2001; Parks et al. 2007; Tubelli et al. 2012; Cranford y Krysl 2015); vocalizaciones (ver revisiones en Richardson et al. 1995; Wartzok y Ketten 1999; Au y Hastings 2008); taxonomía; y respuestas conductuales al sonido (Dahlheim y Ljungblad 1990; ver revisión en Reichmuth 2007).

Cualquier lesión física directa derivada del ruido y la vibración generados por una fuente de sonido está asociada a niveles de presiones o niveles de impulso máximos muy altos. Habitualmente, estos efectos tienen lugar durante operaciones con explosivos o en áreas muy cercanas a operaciones de pilotaje o perforación, donde los pilares se introducen en el lecho marino. Se ha observado que, a niveles de exposición elevados, tales como los típicos de operaciones de explosiones, se producen lesiones físicas cuando los niveles de presión sonora (peak-peak) superan los 220 dB re 1 μ Pa (Nedwell et al. 2007).

A nivel orientativo, se considera que las presiones sonoras RMS por encima de 180dB re 1 μ Pa pueden causar trastornos temporales (TTS) en cetáceos y 190 dB re 1 μ Pa en pinnípedos (NMFS 1985). Sin embargo, el RMS no considera la exposición a niveles sonoros pulsivos, como explosiones o cañones de aire.

A continuación se presenta una tabla resumen con los valores máximos establecidos por los diferentes autores para los diferentes niveles y especies (Tabla 2).



TIPO DAÑO	NIVELES			Autor	ESPECIE
	RMS	SEL	NIVELES PICO		
ITTS	180dB re 1μPa			NMFS 1985	CETÁCEOS MF
	190 dB re 1μPa			NMFS 1985	PINÍPEDOS
		195 re 1μPa ² s		NOAA 2006	CETÁCEOS MF*
		183 dB re 1μPa ² s M-Weighted	224dB re 1μPa	Southall 2007	CETÁCEOS
		171 dB re 1μPa ² s M-Weighted	212 dB re 1μPa	Southall 2007	PINÍPEDOS
		140 dB re 1μPa ² s M-Weighted (SEL _{cum} 24h)*	Lpk,flat: 196 dB re 1μPa*	NOAA 2016	CETÁCEOS HF*
		170 dB re 1μPa ² s M-Weighted (SEL _{cum} 24h)*	Lpk,flat: 224 dB re 1μPa*	NOAA 2016	CETÁCEOS MF*
		168 dB re 1μPa ² s M-Weighted (SEL _{cum} 24h)*	Lpk,flat: 213 dB re 1μPa*	NOAA 2016	CETÁCEOS LF*
		170 dB re 1μPa ² s M-Weighted (SEL _{cum} 24h)*	Lpk,flat: 212 dB re 1μPa*	NOAA 2016	PINNÍPEDOS (PW) UW*
		188 dB re 1μPa ² s M-Weighted (SEL _{cum} 24h)*	Lpk,flat: 226 dB re 1μPa*	NOAA 2016	PINNÍPEDOS (OW) (UW)*
		168 dB re 1μPa ² s M-Weighted	213 dB re 1μPa ² Peak SPL	Southall 2019	CETÁCEOS LF*
		170 dB re 1μPa ² s M-Weighted	224 dB re 1μPa ² s Peak SPL	Southall 2019	CETÁCEOS HF*
		140 dB re 1μPa ² s M-Weighted	196 dB re 1μPa ² s Peak SPL	Southall 2019	CETÁCEOS VHF*
		170 dB re 1μPa ² s M-Weighted	212 dB re 1μPa ² s Peak SPL	Southall 2019	PCW*
	188 dB re 1μPa ² s	226 dB re	Southall 2019	OCW*	



		M-Weighted	1 μ Pa ² s Peak SPL		
	175-179 dB re 1 μ Pa			McCauley <i>et al.</i> (2002)	TORTUGAS
PTS		215 dB re 1 μ Pa ² s		NOAA 2006	CETÁCEOS
		198 dB re 1 μ Pa ² s M-Weighted	230 dB re 1 μ Pa (peak) (flat)	Southall 2007	CETÁCEOS MF*
		186 dB re 1 μ Pa ² s M-Weighted	218 dB re 1 μ Pa (peak) (flat)	Southall 2007	PINNÍPEDOS
		155 dB re 1 μ Pa ² s M-Weighted (SEL _{cum} 24h)*	Lpk,flat: 202 dB re 1 μ Pa*	NOAA 2016	CETÁCEOS HF*
		185 dB re 1 μ Pa ² s M-Weighted (SEL _{cum} 24h)*	Lpk,flat: 230 dB re 1 μ Pa*	NOAA 2016	CETÁCEOS MF*
		183 dB re 1 μ Pa ² s M-Weighted (SEL _{cum} 24h)+	Lpk,flat: 219 dB re 1 μ Pa*	NOAA 2016	CETÁCEOS LF*
		185 dB re 1 μ Pa ² s M-Weighted (SEL _{cum} 24h)*	Lpk,flat: 218 dB*	NOAA 2016	PINNÍPEDOS (PW) UW*
		203 dB re 1 μ Pa ² s M-Weighted (SEL _{cum} 24h)*	Lpk,flat: 232 dB*	NOAA 2016	PINNÍPEDOS (OW) (UW)*
		183 dB re 1 μ Pa ² s M-Weighted	219 dB re 1 μ Pa ² s Peak SPL	Southall 2019	CETÁCEOS LF*
		185 dB re 1 μ Pa ² s M-Weighted	230 dB re 1 μ Pa ² s Peak SPL	Southall 2019	CETÁCEOS HF*
		155 dB re 1 μ Pa ² s M-Weighted	202 dB re 1 μ Pa ² s Peak SPL	Southall 2019	CETÁCEOS VHF*
		185 dB re 1 μ Pa ² s M-Weighted	218 dB re 1 μ Pa ² s Peak SPL	Southall 2019	PCW*
	203 dB re 1 μ Pa ² s M-Weighted	232 dB re 1 μ Pa ² s Peak	Southall 2019	OCW*	



			SPL		
Cambios en el comportamiento	160 dB re 1μPa			NMFS (1985)	CETÁCEOS
	166-175 dB re 1μPa			McCauley et al. (2002)	TORTUGAS
	140-160 dB re 1 uPa (r.m.s. over pulse duration) (flat)			Southall 2007 Southall 2019	CETÁCEOS LF*
	120-180 dB re 1 uPa (r.m.s. over pulse duration) (flat)			Southall 2007 Southall 2019	CETÁCEOS HF*
	160 dB re 1 uPa (r.m.s. over pulse duration) (flat)			NOAA 2016	CETÁCEOS LF* Y MF*
<p>*Nota: La presión sonora máxima (Lpk) tiene un valor de referencia de 1 μPa, y el nivel de exposición sonora acumulativa (LE) tiene un valor de referencia de 1μPa2s. El subíndice asociado a los umbrales del nivel de exposición sonora acumulativa indica la función de ponderación auditiva designada para los mamíferos marinos (cetáceos LF, MF y HF, y pinnípedos PW y OW) y que el período de acumulación recomendado es de 24 horas. Los umbrales de nivel de exposición acústica acumulativa podrían superarse de múltiples maneras (es decir, variando los niveles y las duraciones de exposición, el ciclo de trabajo). Cuando sea posible, es valioso que los proponentes de medidas indiquen las condiciones en que se superarán esos umbrales acústicos.</p>					

Tabla 2 Tabla resumen de los diferentes acuerdos y estudio sobre impactos. Adaptación SUBMON

Aunque la función ecológica de la audición no se ha estudiado bien en el caso de las tortugas marinas, la capacidad auditiva se ha deducido a partir de estudios morfológicos y electrofisiológicos. (Southwood et al 2008)

El rango de audición (50-1200 Hz: Viada et al 2008, Martin et al 2012, Popper et al 2014) coincide con las frecuencias predominantes de los ruidos antropogénicos, lo que aumenta la probabilidad de que las tortugas marinas pueden experimentar efectos negativos por la exposición al ruido.

En la actualidad, se sabe que las tortugas marinas perciben sonidos de baja frecuencia, sin embargo, se sabe poco sobre el alcance de la exposición a ruidos de origen antropogénico en sus hábitats naturales, o sobre los posibles efectos de una mayor exposición a ruidos antropogénicos en la biología de las tortugas marinas. Se han demostrado claramente las respuestas de comportamiento. (Samuel et al 2005)

En el caso de peces, Nedwell et al. (2004, 2005) en sus experimentos con arenque, lubina, lenguado concluye que, en general para peces especialistas, niveles por debajo de 180 dB en banda ancha por periodos de minutos no producirían efectos.



1.3.6 DAÑOS A TEJIDOS DEL ANIMAL Y MORTALIDAD

Esta zona va más allá de la pérdida de audición. Los daños a tejidos y posible mortalidad posterior están ligados a ondas expansivas a partir de fuentes pulsátiles (no continuas) tales como explosiones o sonares de alta potencia, y han sido reportados sobre todo para peces y mamíferos marinos.

Aunque no existen evidencias de daños en los tejidos corporales de los mamíferos marinos causados por pulsos sísmicos, se ha calculado que exposiciones a sonidos de 500 Hz a niveles de presión sonora (PSL) de 210 dB re 1 μ Pa podrían causar un aumento de las burbujas de gas en los tejidos sobre-saturados de nitrógeno durante inmersiones largas y profundas, dañando los tejidos. No obstante, este efecto es improbable a niveles de presión sonora por debajo de 190 dB re 1 μ Pa (Crum&Mayo 1996 citado en Gordon et. al., 2003).

Por otra parte, una serie de incidentes en Grecia, Bahamas, Madeira y las Islas Canarias han demostrado que existía una relación entre el uso de sonares militares y episodios de varamientos masivos de algunos cetáceos, principalmente zifios.

Estudios llevados a cabo sobre calamares gigantes (*Archyteuctis dux*) muestran la existencia de daños fisiológicos directos e indirectos, en ejemplares varados simultáneamente a prospecciones sísmicas (Guerra et al., 2004, 2005). Las necropsias de algunos de los calamares en 2003 no mostraron lesiones externas, sin embargo, todos los calamares tenían daños severos en los oídos y uno sufrió grandes daños extensivos en los órganos internos (Guerra et al. 2004, 2005). La aparición de estos varamientos durante dos salidas de exploración sísmica sugiere que los factores acústicos podrían haber causado o contribuido a las lesiones en los órganos y tejidos y probablemente causó la muerte de los calamares.

En el caso de peces, Abbott y Bing-Sawyer (2002) investigaron los efectos del sonido en el ciprínido *Orthodonmicrolepidotus*, y se comprobó que los individuos presentaron daños frente a sonidos con un pico de 193 dB re 1 μ Pa, pero frente a sonidos por debajo de picos de 183 dB re 1 μ Pa, no sufrían daño alguno (Popper y Hastings, 2009), lo que en parte confirma los estudios de Nedwell et al. (2004, 2005). Por otro lado, Ruggerone et al. (2008) investigaron el impacto de picos de sonido de 208 dB re 1 μ Pa y SEL de 179 dB re 1 μ Pa durante 3-4h sobre el salmón *Oncorhynchus kisutch* y no observaron casos de mortalidad ni de afecciones fisiológicas. Por otro lado, es importante no considerar solo a los peces adultos sino también a la posible afección sobre los huevos y larvas por la exposición a fuentes sísmicas, ya que los adultos poseen la capacidad de desplazarse fuera del área de actuación, mientras que los



huevos y larvas carecen de esta capacidad quedando su pequeño movimiento a merced de las corrientes presentes (Popper y Hastings, 2009). Kostyuchenko (1973) estudió los efectos generados por los cañones de aire sobre los huevos de peces y reportó daños en los mismos a una distancia de 20 m de la fuente sísmica. Así mismo, Booman et al. (1996) demostraron una mortalidad significativa en huevos y larvas de *Gadus morhua*, *Pollachius virens* y *Clupea harengus* localizados a 5 m de la fuente, aunque en este caso, al estar los individuos tan cerca de la fuente no se pudo asegurar que los efectos se debieran exclusivamente al sonido sino que también pudieron afectar parámetros como la variación en el movimiento oscilatorio del agua. Otros estudios realizados sobre huevos y larvas de diferentes especies (*Clupea harengus*, *Gadus morhua*, *Pollachius virens* y *Anarhichas minor* Olafsen) mostraron que una exposición a pulsos de sonar con SPL entre 150 y 189 dB re 1 μ Pa no supusieron cambios en el comportamiento de las larvas ni mortalidad de las mismas pasados 34 días tras la exposición, a excepción de *C. harengus* sometida a una SPL 189 dB re 1 μ Pa, que mostró una mortalidad del 20-30% (Jørgensen et al., 2005; Kvadsheim y Sevaldsen, 2005). En conclusión, los pocos estudios realizados sobre huevos y larvas en este sentido, son insuficientes para determinar la afección sobre los mismos y su capacidad de supervivencia (Popper y Hastings, 2009).



2 MÉTODOS DE CÁLCULO

2.1 PROPAGACIÓN ACÚSTICA SUBACUÁTICA

El modelo de propagación acústica subacuática se utiliza para estimar el campo sonoro que generan las diferentes fuentes de ruido. El objetivo de la modelización es determinar las distancias de impacto potencial de las fuentes sonoras en el área bajo estudio. Para ello, se calcula la pérdida de transmisión acústica subacuática, que se aplica al nivel de la fuente de ruido en la zona proporcionada por el cliente.

La pérdida de transmisión acústica subacuática es función de la profundidad y del perfil batimétrico, el rango, la directividad de la fuente, las propiedades ambientales y los parámetros geofísicas del entorno.

La distribución geométrica idealizada del sonido solo puede esperarse si la velocidad de propagación es constante, lo que no sucede en el entorno submarino, debido a que la temperatura varía con la profundidad. Además de los efectos de la velocidad del sonido, el volumen de agua del océano es acústicamente absorbente y produce una atenuación que se incrementa con la frecuencia. Asimismo, los contornos o límites del medio marino (fondo y superficie oceánicos) afectan a la intensidad del sonido debido a las reflexiones parciales de la energía acústica incidente.

Debido a la mencionada dependencia ambiental en la pérdida de transmisión acústica, la precisión del modelo depende de la precisión de los datos disponibles, como las condiciones de la superficie del mar, la profundidad de la columna de agua y el tipo de fondo marino. Obtener la información exacta para todas las situaciones de modelado posibles, en especial para los transectos que abarcan centenares de kilómetros, es prácticamente imposible. En estos casos, es posible que el modelo de distribución geométrica no sea el más adecuado, y será preciso trabajar con algunas hipótesis sobre las medias de perfiles sonoros, las condiciones del fondo marino, etc.

Todos los métodos y las hipótesis utilizados en el presente informe se describen en este apartado. En primer lugar, se detallan los modelos y las vías de propagación acústica subacuática. A continuación, se proporciona una breve descripción de las métricas de ruido y de la ponderación utilizadas en los resultados. Por último, se presenta el entorno estudiado junto con las correspondientes hipótesis y consideraciones.

En este estudio se ha utilizado el software KEASEA de Keacoustics para realizar todos los cálculos de propagación acústica, cálculos de los valores de entrada de las fuentes



sísmicas, y extracción de índices y métricas acústicas. La aplicación utiliza la librería AcTup v2.2L (Acoustic Toolbox User Interface) que implementa los diferentes modelos de propagación considerados.

2.2 TRAYECTORIAS DE PROPAGACIÓN ACÚSTICA SUBACUÁTICA

Según la clasificación de(Dunn, 2015), la propagación acústica en el océano puede dividirse en tres clases: propagación a distancias cortas, propagación en aguas profundas y propagación en aguas poco profundas.

La propagación a distancias cortas se produce a consecuencia de la distribución geométrica del sonido. En ausencia de obstáculos, el nivel de presión acústica desde una fuente puntual decae con una relación de $1/r^2$ (donde r es la distancia a la fuente de ruido). En este caso, las fuentes de ruido utilizadas se colocan muy cerca de la superficie, de modo que habrá dos trayectorias principales: la trayectoria directa y la trayectoria reflejada en superficie. La interferencia de estas dos trayectorias genera una distribución espacial característica del sonido, conocida como patrón Espejo Lloyd, que se ilustra en la Figura 4:

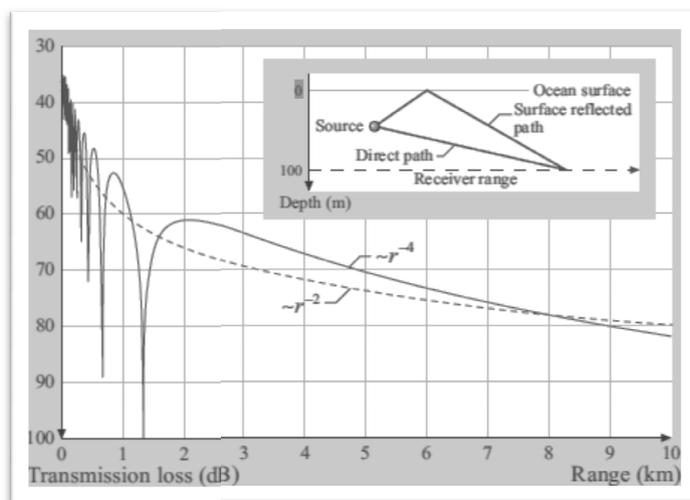


Figura 4 Efecto Espejo Lloyd

En las distancias largas, la velocidad es un parámetro determinante para la trayectoria de propagación. La reflexión que se produce a causa de la estratificación de la velocidad del sonido en el mar obedece a la ley de Snell:

$$\frac{\cos \theta(z)}{c(z)} = \text{constant}, \quad (5)$$



donde $c(z)$ es la velocidad del sonido a la profundidad z θ_c es el ángulo de propagación de la fuente sonora respecto de la horizontal.

La ley de Snell implica que la trayectoria de propagación acústica se curva hacia regiones donde la velocidad del sonido es baja. Esto es particularmente importante en las regiones en las que hay un mínimo local de velocidad del sonido. Si este mínimo está alejado de la superficie, el sonido puede propagarse a distancias de miles de kilómetros. Esta trayectoria de propagación se conoce como canal sonoro profundo. Si se considera el fondo del océano como una superficie plana idealizada, se puede modelizar el océano como una guía de ondas acústicas. Esto es más evidente en aguas poco profundas, en las que la distancia entre la superficie y el fondo marino es de unos pocos cientos de metros. En este caso, las trayectorias de los rayos en el ángulo de incidencia crítico de $2\theta_c$ se propagarán con una pérdida de distribución cuasi cilíndrica y el nivel de presión acústica decaerá en una ratio de $1/\sqrt{r}$.

2.3 MODELOS DE PROPAGACIÓN ACÚSTICA SUBACUÁTICA

Existen varios métodos numéricos para resolver el problema de la propagación acústica subacuática. Todos ellos se basan en modelos físicos y matemáticos, como la teoría de rayos, la ecuación parabólica y los modos normales, entre otros. Sin embargo, la aplicabilidad de todos estos modelos físicos y matemáticos presenta algunas limitaciones inherentes, que se manifiestan como restricciones en el rango de frecuencias o en la especificación de la geometría del problema.

El presente estudio se centra en los métodos que dependen del rango. La dependencia de rango indica que algunas propiedades del medio oceánico pueden variar en función del rango y de la profundidad (2D) y, en algunos casos, también en función del azimut (3D).

En la modelación utilizada en el presente estudio, se ha considerado un método de rayos ya que la frecuencia de operación de las fuentes de ruido es suficientemente elevada.

MODELO GAUSSIANO DE TRAZADO DE HACES (BELLHOP)

Bellhop es un modelo de trazado de haces acústicos que se utiliza para predecir los campos de presión acústica en entornos marinos. La teoría de rayos se basa en aplicar una solución de onda plana a la ecuación de Helmholtz y separarla en términos reales e imaginarios:



$$\nabla^2 \phi + k^2 \phi = 0. \quad (6)$$

Esta aproximación solo puede realizarse si la amplitud varía más lentamente con la posición que la fase (aproximación acústica geométrica).

El método Bellhop (Porter, 2011) es un modelo gaussiano de trazado de haces acústicos que asocia un haz a cada rayo con un perfil gaussiano de intensidades normal al rayo. Esta técnica evita que se produzcan ciertos artefactos de trazado de rayos.

2.4 SEL

El valor SEL se ha obtenido a partir del valor RMS, y se ha tenido en cuenta la relación entre los rangos de seguridad y la propiedad intrínseca de la propagación acústica subacuática que procede alargar la duración del ruido con la distancia a la fuente. Efectivamente, debido a los patrones de llegada de los rayos procedentes de distintas vías de transmisión causados por las variaciones de los perfiles batimétricos, la velocidad del sonido en la columna de agua y los parámetros geofísicos del fondo marino, las variaciones entre el SEL y el RMS tienden a ser mayores para distancias cercanas a la fuente de ruido, y menores distancias más lejanas, donde la duración del pulso tiende a incrementarse debido a los efectos de la propagación.

3 MODELADO DE PROPAGACIÓN ACÚSTICA

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE RUIDO

La campaña oceanográfica conlleva el uso de multiplicidad de fuentes, descritas someramente a continuación:

Source Name	Source Depth (m)	Sound Pressure Level (dB _{rms} @1m)	Low Freq. (kHz)	High Freq. (kHz)	Geometric Mean Freq. (kHz)
-------------	------------------	--	-----------------	------------------	----------------------------



Shipboard equipment

1	TRDI WorkHorse Long Ranger 75kHz ADCP	4	223	67,2	86,4	76,8
2	TRDI Sentinel V50 ADCP	7	214	430	552,9	491,5
3	TRDI Sentinel V20 ADCP	4	218	860,1	1105,9	983
4	Skipper GDS-102 Dual frequency (50/200 kHz) navigational echosounder	4	1 kW	50	200	"50 / 200"
5	Kongsberg EA 600 System 12 kHz navigational deep-sea echosounder	4	2 kW	-	-	12
6	Kongsberg EM302 Swath Multibeam with ping and chirp mode, 1° x 2°, 30kHz, scientific echosounder	4	214	-	-	30
7	Oretech 3010 10kW Echo sounder 3.5 kHz	4	-	-	-	-
8	Trackpoint range and direction finder for floats	3	193	15	15	15

**Acoustic Sources****APL/UW REMUS****100 UUV**

9	UUV	WHOI	0-50	<135	20	30	25
	Micromodem						
10	Gateway	WHOI	15	<135	20	30	25
	Micromodem						
11	LBL pingers		0-50	186	20	30	25
12	RDI Navigator 1.2		0-50	214	1000	1400	1229
	MHz ADCP/DVL						
13	RDI Navigator 600		0-50	217	530	690	614
	kHz ADCP/DVL						
14	Nortek		0-50	217	750	1250	1000
	Signature1000 ADCP						

Acoustic Sources**Lagrangian floats**

15	Nortek		0-50	217	750	1250	1000
	Signature1000 ADCP						
16	Lagrangian Float		0-300	192	10	11	10,50
	Transponder #1						
17	Lagrangian Float		0-300	192	12	13	12,50
	Transponder #2						

Tabla 3 Relación de las fuentes de ruido de la campaña CALYPSO 2022

Según especificaciones del cliente, el marco del proyecto se limita a los perfiladores de corriente correspondientes a las fuentes 1 y 2 de la tabla anterior, por ser estas las que se prevé pueden alcanzar mayores rangos de distancia:

**TRDI WorkHorse
Long Ranger
75kHz ADCP**

**TRDI Sentinel
V50 ADCP**



Source Depth (m)	4	7
Sound Pressure Level (dB_{rms}@1m)	223	214
Low Frequency (kHz)	67,2	430
High Frequency (kHz)	86,4	552,9
Geometric Mean Frequency (kHz)	76,8	491,5
Pulse Length (msec)	23	2,9
Pulse Repetition Rate (sec)	2	0,5
Duty Cycle (%) *	1,15	0,58
Horizontal Beamwidth (deg)*	4 degrees for each of 4 beams	2.5 degrees for 4 Janus beams, 5 degrees for vertical beam
Vertical Beamwidth (deg)*		
D/E Angle (deg)	-90	-90
proposed hours of use in the Engineering Test	24 hrs/day	24 hrs/day
proposed hours of use in the Main Experiment	24 hrs/day	24 hrs/day

Tabla 4 Propiedades perfiladores de corriente

A continuación se muestra una sección de la configuración de las fuentes de ruido. Según especificaciones de fabricante se han considerado unos lóbulos secundarios a 20° según haz axial, con una atenuación de 25 dB para la fuente Longrange, y 34 dB para la fuente Sentinel.

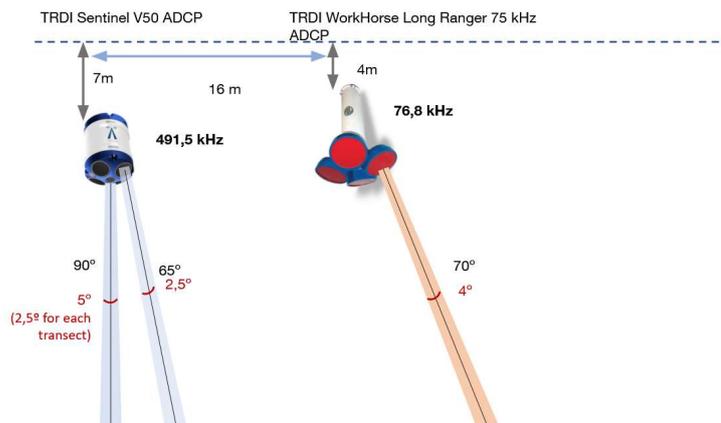


Figura 5 Configuración sección perfiladores de corriente

En relación con las otras fuentes de la Tabla 3, cabe mencionar que la sonda multibeam (fuente número 6) es la de mayor importancia, debido al umbral de 160 dBSLP del proyecto, en relación con el rango frecuencial y la potencia acústica de la fuente. Sin embargo, dicha fuente quedó finalmente descartada en la fase previa de proyecto, conjuntamente con la ecosonda (fuente número 5).

Por lo que se refiere a las otras fuentes, el estudio ha tenido en cuenta las fuentes Trackpoint II (fuente número 8) y Lagrangian float #1 (fuente número 16). Se trata de las fuentes que presentan una relación de nivel de potencia acústica suficientemente elevada y las frecuencias de operaciones más bajas de la campaña oceanográfica, pudiéndose propagar su energía acústica a mayores distancias.

3.1.1 PERFIL DE VELOCIDAD DEL SONIDO

El perfil de velocidad varía según los perfiles de temperatura T ($^{\circ}C$), salinidad S (psu) y profundidad D (m) y puede obtenerse a partir de la ecuación (7) (Mackenzies, 1981)

$$c = 1448,96 + 4,591 T - 5,304 \cdot 10^{-2} T^2 + 2,374 \cdot 10^{-4} T^3 + 1,340(S - 35) + 1,630 \cdot 10^{-2} \cdot D + 1,675 \cdot 10^{-7} D^2 - 1,025 \cdot 10^{-2} T(S - 35) - 7,139 \cdot 10^{-13} T D^2 \quad (7)$$

Los datos de velocidad se han obtenido de las base de datos de la NOAA del WorldOcean Atlas(NOAA).

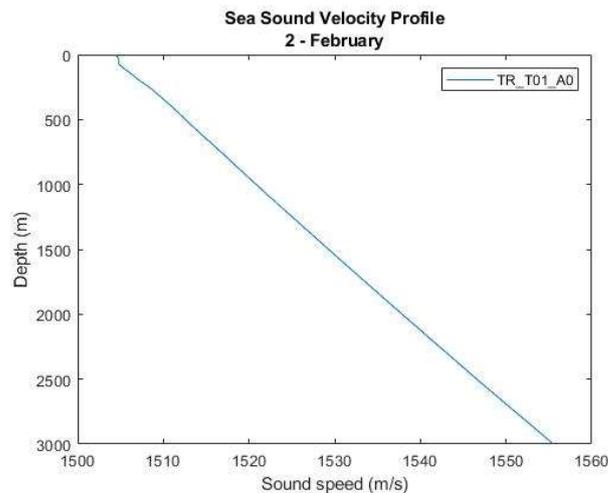


Figura 6 Perfil de velocidad

3.1.2 PROPIEDADES DEL AGUA

La propagación acústica en el medio acuático no se puede considerar como una distribución geométrica idealizada debido a varios factores, como el perfil de velocidad, la reflexión en sus contornos y la conversión de la energía acústica en el proceso que se denomina absorción.

(1) SUPERFICIE MARINA

En el presente estudio, la superficie marina se modela como una capa lisa y plana. Esto significa que no se tiene en cuenta la rugosidad debido a la influencia del viento. En la literatura se referencian varias ecuaciones que permiten obtener una estimación de la altura del mar a partir de la velocidad del viento, véase (Etter, 2013). No obstante, dado que la condición de contorno plano es la situación más desfavorable, en este modelo no se ha considerado ninguna rugosidad en la capa de agua.

(2) ABSORCIÓN DEL AGUA

La absorción del sonido en el agua del mar se produce debido a la viscosidad y a la relajación iónica de las sales disueltas en el agua. Ambos procesos contribuyen a la pérdida de energía de la señal acústica. Sin embargo, esta absorción solo es significativa a frecuencias altas, y en el rango de frecuencias en el que se centra el presente estudio, tomar importancia a partir de los 8000 Hz aproximadamente. La

formulación utilizada en la modelización es según la fórmula de Thorp, debidamente referenciada en (Etter, 2013), combinada con la formulación para frecuencias superiores a 50 KHz de Ainslie M. A., McColm J 1998.

En la Tabla 5 se muestran los parámetros de la columna de agua considerados en esta modelización acústica

Medio	Profundidad (m)	Densidad (kg/m ³)	Velocidad compresional del sonido (m/s)
Agua	Depende de la batimetría	1024	Perfil medio de velocidad

Tabla 5 Parámetros columna de agua

3.1.3 PARÁMETROS DEL FONDO MARINO

Según la información publicada en la base de datos EMODnet, el lecho marino del área bajo estudio viene caracterizado por arena fina. Sin embargo, y debido a la presencia de algunas regiones de un seabed de roca (partes grises en la zona central de la Figura 7), se ha considerado este substrato en base a roca, de tal modo que se modeliza la condición más favorable a la propagación acústica.

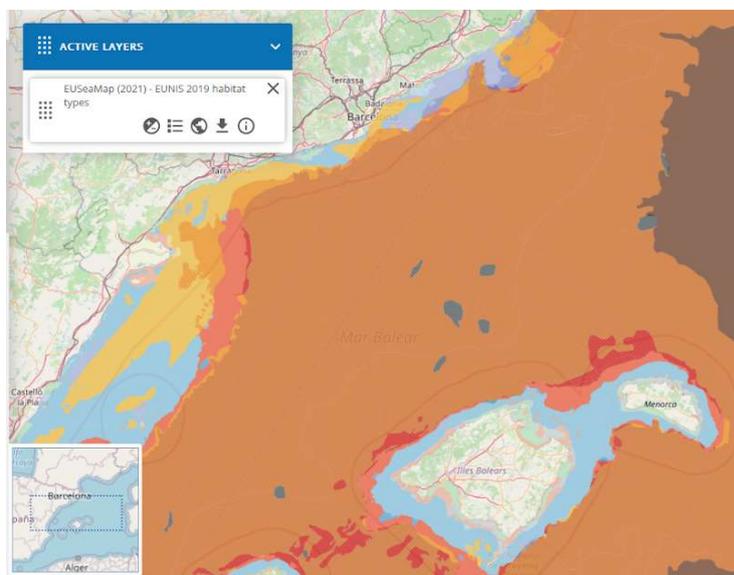


Figura 7 Tipos de fondo marino de la zona bajo estudio. Fuente: EMODnet

Las propiedades físicas de la capa de sedimentos se describen en la Tabla 6:



Medio	Densidad (kg/m ³)	Velocidad ondas de compresión (m/s)	Absorción onda de compresión (dB/λ)
Basalto	2700	5250	0.1

Tabla 6 Parámetros de los sedimentos

3.1.4 BATIMETRÍA

Los problemas de propagación acústica submarina deben tener en cuenta las variaciones horizontales de la batimetría, por lo que se necesita una fuente de información fiable para obtener resultados suficientemente precisos. En este estudio, según la información proporcionada por el cliente, el modelado de ruido se ha realizado a 2,75 E, 40,75 N en una profundidad de agua de unos 2000 m. La batimetría se obtuvo de la General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO 2020).

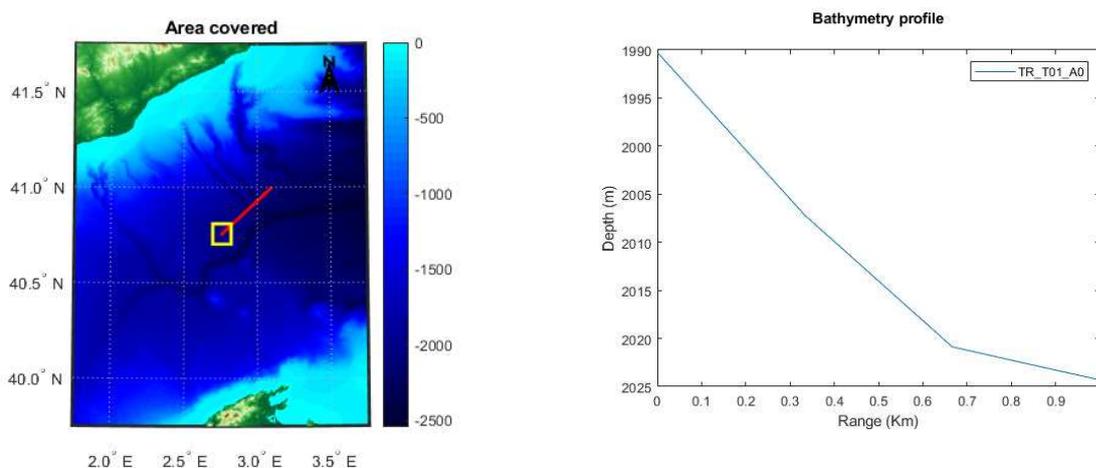


Figura 8 Transecto principal. Zona amarilla correspondiente al punto de referencia 2,75 E, 40,75 N. Perfil batimétrico.

Para el punto escogido se ha generado una matriz de transectos sobre los cuales se ha modelizado la propagación acústica en bandas de octava a las frecuencias de cada una de las fuentes perfiladores de corriente. El rosetón se configura con una variación de ángulo constante, y se sitúa en el punto de referencia 2,75 E, 40,75 N.

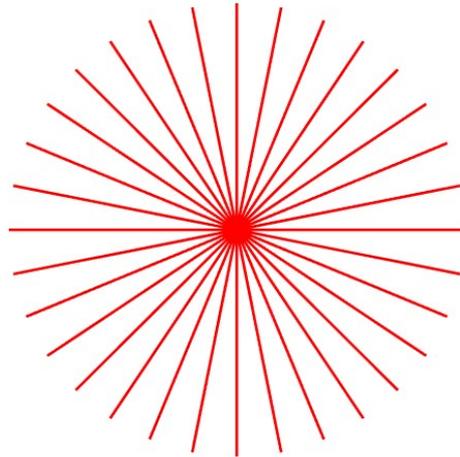


Figura 9 Rosetón situado en la posición 2,75 E, 40,75 N

Cada transecto tiene una distancia de 1 Km con una resolución de 10 metros x 2 m (radio x profundidad).

3.2 RUIDO DE FONDO

El ruido de fondo, o ruido ambiente, es la suma del ruido procedente de fuentes naturales y del ruido generado por la actividad humana. Puede tener varias fuentes de origen, como el viento, la precipitación, el hielo, la actividad biológica, la actividad sísmica, la profundidad del área, la época del año, el transporte, dragados, perforaciones, obras, etc. Para algunas predicciones, es adecuado utilizar los espectros del ruido ambiental representativos de las diferentes condiciones, denominados "curvas de Wenz". En la Figura 10 se ilustran las curvas de Wenz para diferentes condiciones del tráfico de embarcaciones y la velocidad del viento en aguas profundas (Etter, 2013). Normalmente, por debajo de los 10 Hz prevalece el ruido natural (terremotos, explosiones, etc.), mientras que por encima de unos cientos de Hz, el estado del mar es la principal fuente de ruido ambiente. Por último, en la región intermedia, predomina el ruido de las embarcaciones.

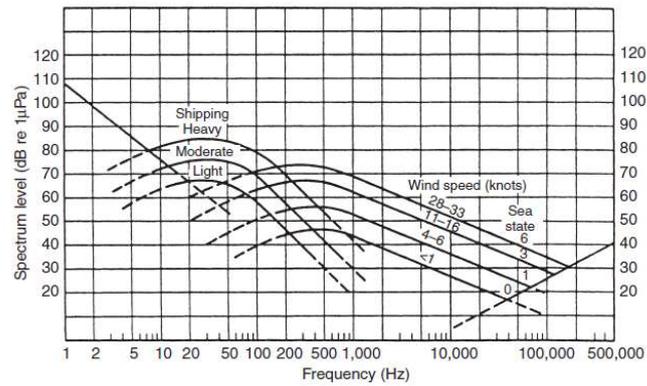


Figura 10 Curvas de Wenz en aguas profundas

El ruido generado por las embarcaciones y transmitido al medio acuático se llama firma sonora y es individual para cada embarcación y modo de operación, si bien hay unas características generales extrapolables a embarcaciones similares en tamaño, potencia, distribución de propulsores, velocidad y modo de operación.

El buque Pelagia cuenta con una eslora 66 m y un registro bruto de unas 1615 Toneladas métricas (Tm) en órdenes de magnitud, y una velocidad de tránsito entre 2 y 10 nudos.

Para embarcaciones en tránsito, el ruido radiado al agua a igualdad de configuración de propulsores, antigüedad, tipo de motorización etc., depende del tamaño del buque y su velocidad. Ross 2005 provee una fórmula de cálculo aproximado del nivel de ruido fuente a 1 m del casco del buque tal como:

$$L_s = 134 + 60 \log_{10} \left(\frac{U_a}{10} \right) + 9 \log_{10}(T_d), \quad (8)$$

siendo L_s el nivel ruido fuente total en banda ancha medido en dB re $1\mu\text{Pa}$, U_a la velocidad en nudos, y T_d el registro bruto o desplazamiento en Tm.

Aplicando esta fórmula al buque Pelaggia en tránsito a 10 nudos, el nivel de radiación sonora en banda ancha es de 162 dB, lo cual es relativamente consistente con la literatura existente para barcos de ese tamaño (Richardson *et al.*, 1995; Bahtiarian M). Aplicando la misma fórmula a la velocidad de trabajo de 2 nudos, el nivel de radiación sonora de banda ancha es de 121 dB.

En cuanto a la distribución espectral de este ruido radiado al agua, en sus diferentes rangos de frecuencia (octavas o tercios de octava), se ha identificado un espectrograma bastante común en embarcaciones en tránsito según Figura 11.

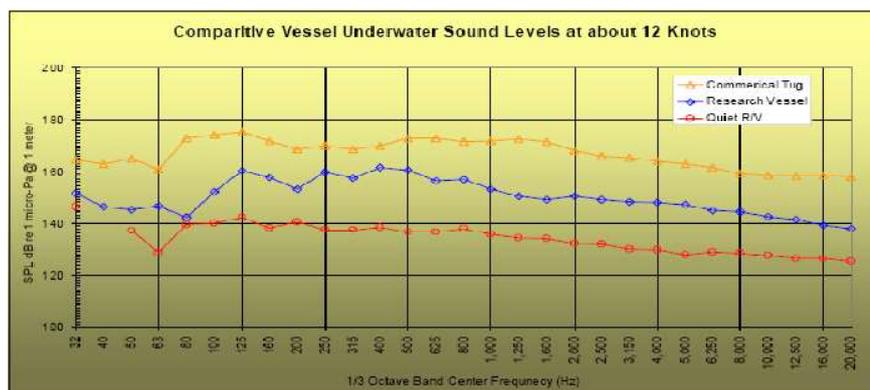


Figura 11 Niveles de sonido subacuáticos medido en embarcaciones (Fuente: Bahtharian M., NOAA Symposium).

Los niveles de presión sonora de las fuentes empleadas en el proyecto CALYPSO son superiores al nivel de presión sonora del ruido ambiente obtenido de la bibliografía, y consecuentemente los resultados no se verán afectados por fuentes de ruido de naturaleza externa a la campaña oceanográfica.

Teniendo en cuenta que el nivel de presión sonora global de los ADCP TRDI WorkHorse Long Ranger 75kHz ADCP y TRDI Sentinel V50 ADCP son 223 y 214 dB RMS respectivamente, y que el valor de presión sonora del buque se estima entre 162 y 120 dB, en función de la velocidad, se puede afirmar que este último no influenciará a las distancias de seguridad objeto de esta modelización acústica.

3.3 METODOLOGÍA

La metodología utilizada en este estudio para obtener las distancias de impacto potencial para la vida marina es la siguiente:

- Obtención de la fuente de ruido mediante la información del cliente según la Tabla 3.
- Cálculo de la pérdida de transmisión para la batimetría. Se aplica un modelo acústico submarino dependiente del alcance (BELLHOP) para obtener la pérdida de transmisión.
- Obtención del nivel de presión de sonido a partir de la pérdida de transmisión de sonido del ruido de la fuente.
- Cálculo de los radios de seguridad para el nivel de presión sonora para cada uno de los índices y valores umbral considerados.



4 RESULTADOS DE LA MODELIZACIÓN ACÚSTICA SUBACUÁTICA

Se modeliza la propagación acústica generada para las cuatro fuentes consideradas. Se considera un conjunto de transectos de 1 km de distancia, con una resolución de 10 metros en rango y 2 metros en profundidad. Los valores de pérdida de transmisión se calculan en las bandas frecuenciales correspondientes a la frecuencia de operación de cada fuente. Para los perfiladores de corriente se ha realizado un estudio en detalle de la directividad y se plotean los resultados en forma de rosetón. Por su parte, las fuentes secundarias Lagrangian y Trackpoint II se han simulado en un modelo 2D.

En primer lugar se exponen los resultados de las dos fuentes ADCP del proyecto, y a continuación las gráficas 2D de las dos fuentes secundarias Lagrangian y Trackpoint II.

4.1 ADCP LONGRANGER Y SENTINEL

Por lo que se refiere a los perfiladores de corriente consideradas en este proyecto, las distancias límite obtenidos para el índice RMS se muestran en la Tabla 7, y los índices SEL con ponderación LF y HF en la Tabla 8.

Cada distancia límite, indicada como Rmax, se compone de un par de valores: la distancia horizontal - medida desde el buque- donde se alcanza el valor límite, y la profundidad donde se estima este valor. La hipotenusa que forman estos dos valores (catetos) indica la distancia lineal donde se alcanza este valor, medida desde el buque.

FUENTE	VALOR	GRUPO	LIMITE	Rmax
		AUDITIVO		
TRDI WorkHorse Long Ranger 75kHz ADCP	RMS dB re 1µPa	TODOS	160	236 m @ 650 m de profundidad
TRDI Sentinel V50 ADCP	RMS dB re 1µPa	TODOS	160	43m @ 90 m de profundidad

Tabla 7 Rango de seguridad 160 dB RMS (ref 1µPa @ 1 m). Fuentes: TRDI WorkHorse Long Ranger 75kHz ADCP y TRDI Sentinel V50 ADCP



FUENTE	Índice	Grupo auditivo	LIMITE EXPOSICIÓN	Rmax
TRDI WorkHorse Long Ranger 75kHz ADCP	SEL re 1 μ Pa2s M-Weighted	LF	168	10 m @ 30 m de profundidad
		HF	170	
TRDI Sentinel V50 ADCP	SEL re 1 μ Pa2s M-Weighted	LF	168	
		HF	170	

Tabla 8 Rango de seguridad SEL ponderado Southall 2019 LF y HF (ref 1 μ Pa2 ·s @ 1 m). Fuentes: TRDI WorkHorse Long Ranger 75kHz ADCP y TRDI Sentinel V50 ADCP

La distancia máxima se alcanza para la fuente TRDI WorkHorse LonRanger 75 KHz ADCP, la de mayor energía y menor frecuencia de operación de los dos perfiladores de corriente de la campaña oceanográfica. Asimismo, el índice que se propaga con mayor facilidad es el valor RMS, ya que sobre él no aplica ninguna ponderación frecuencial y le aplica un valor límite de 160 dB SPL. Los índices SEL – LF y SEL – HF presentan unas propagaciones más modestas, debido básicamente a las ponderaciones frecuenciales aplicadas.

Las propagaciones acústicas de cada uno de los tres índices, RMS, SEL-LF y SEL-HF, para cada uno de los dos perfiladores, se muestran en las figuras Figura 12 - Figura 17.

Se ha estudiado la propagación acústica que generan los perfiladores de corriente de forma independiente, sin aplicar ninguna superposición en las gráficas.

Todas las imágenes se corresponden con la propagación acústica de cada una de los dos perfiladores en la posición de referencia 2,75 E, 40,75 N, según detalle de la Figura 8.

La imagen superior de cada figura representa la propagación 3D, consistente en un plano horizontal y una sección en ángulo recto, mientras que la imagen inferior representa la propagación 2D en superficie.



En la representación 3D, el plano horizontal representa una proyección en superficie, que se muestra ampliada en la imagen inferior. La sección de la representación 3D representa la propagación acústica en función de la profundidad. En ella se observan los dos lóbulos principales y secundarios de cada haz del perfilador. La escala de colores indica el nivel del índice que se está mostrando.

La representación 2D es una proyección de la sección 3D en superficie. De ella se pueden extraer cualitativamente los resultados de la Tabla 7. En algunas imágenes 2D aparecen isófonas de color negro, para facilitar la interpretación. Cuando el valor límite aparece en la gráfica (únicamente en fuente Longranger e índice RMS), la isofonoa correspondiente al límite aparece con el valor límite para mayor comprensión.

Debido al error de interpolación, las propagaciones son validas para distancias alejadas de la fuente, y siempre dentro de los lóbulos principales y secundarios de las mismas.



PROYECTO CALYPSO

Descripción

Fuente



Valor RMS (dB ref 1 μ Pa @ 1m) máximo en la columna de agua

LongRanger

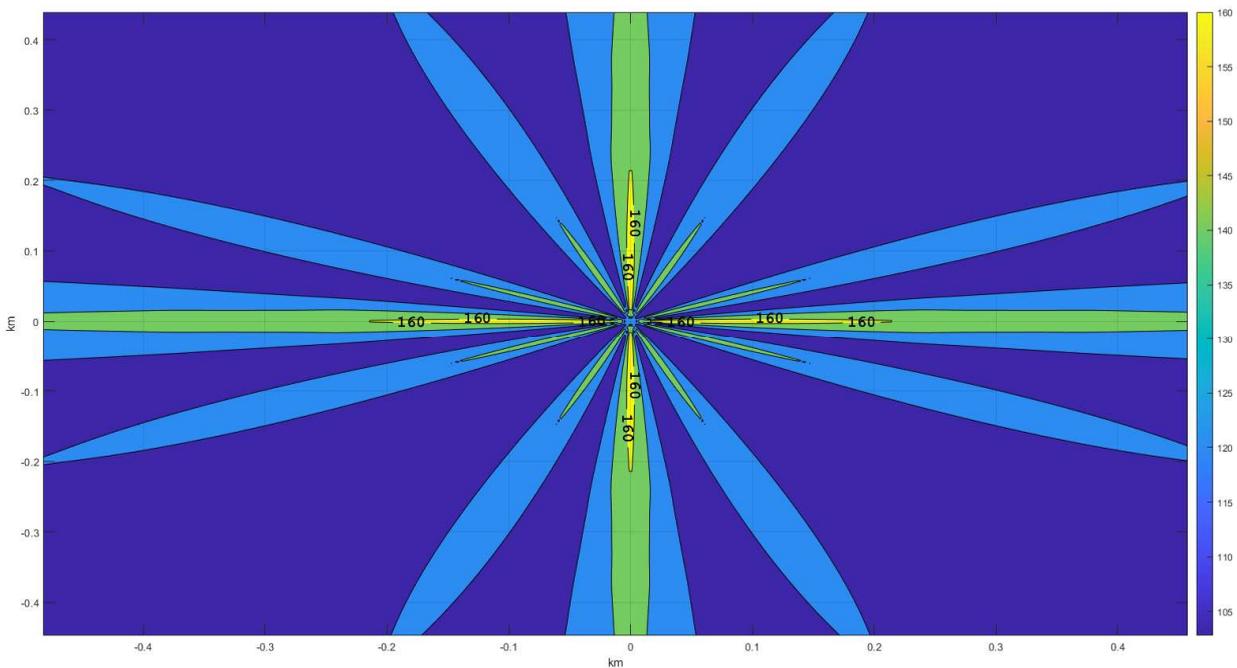
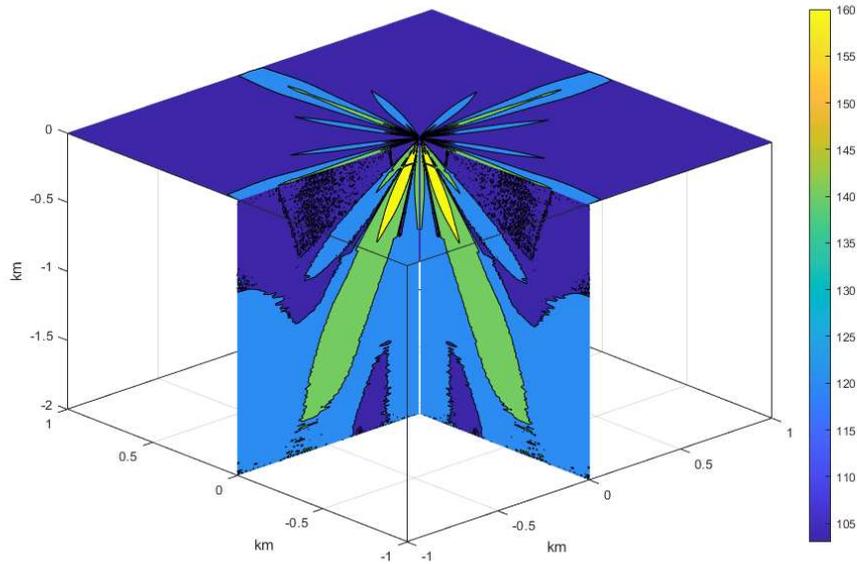


Figura 12 Valor RMS (dB ref 1 μ Pa @ 1m) máximo en la columna de agua. Fuente: Longranger



PROYECTO CALYPSO

Descripción

Fuente



Valor SEL-LF-Weighted (dB ref $1\mu\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$ @ 1 m) máximo en la columna de agua

LongRanger

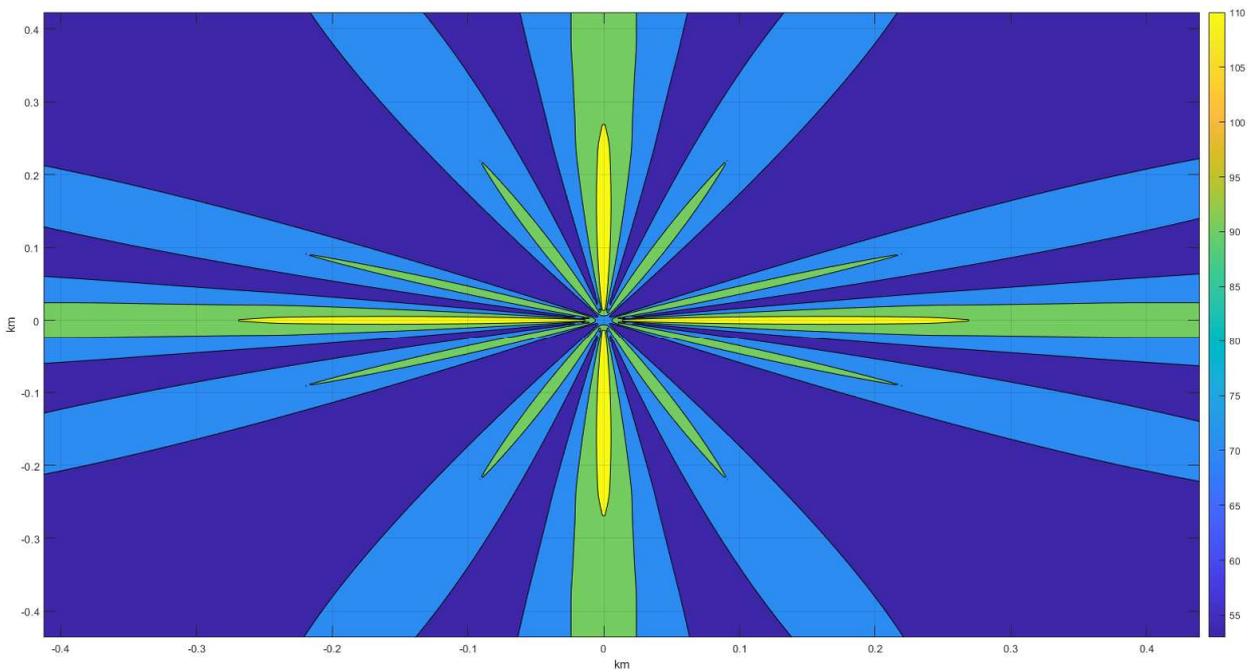
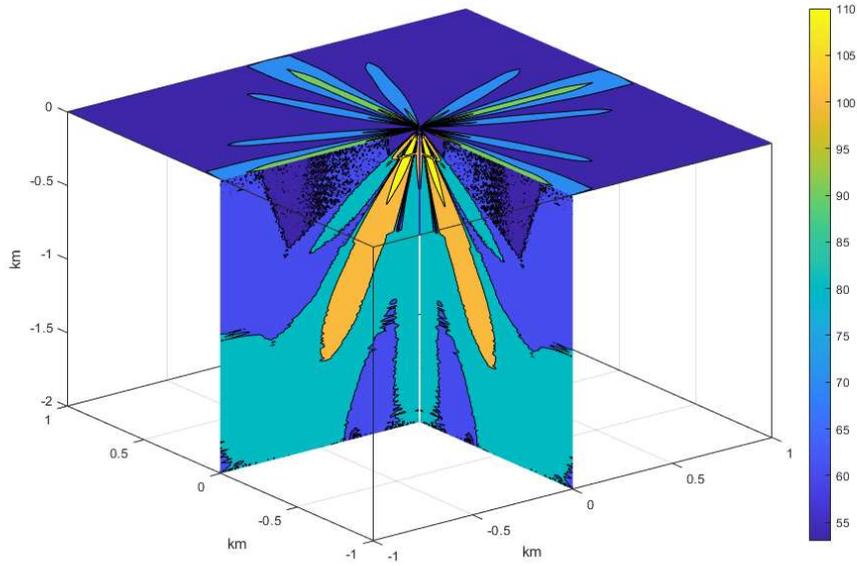


Figura 13 Valor SEL-LF-Weighted (dB ref $1\mu\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$ @ 1 m) máximo en la columna de agua. Fuente: Longranger



PROYECTO CALYPSO

Descripción

Fuente



Valor SEL-HF-Weighted (dB ref $1\mu\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$ @ 1 m) máximo en la columna de agua

LongRanger

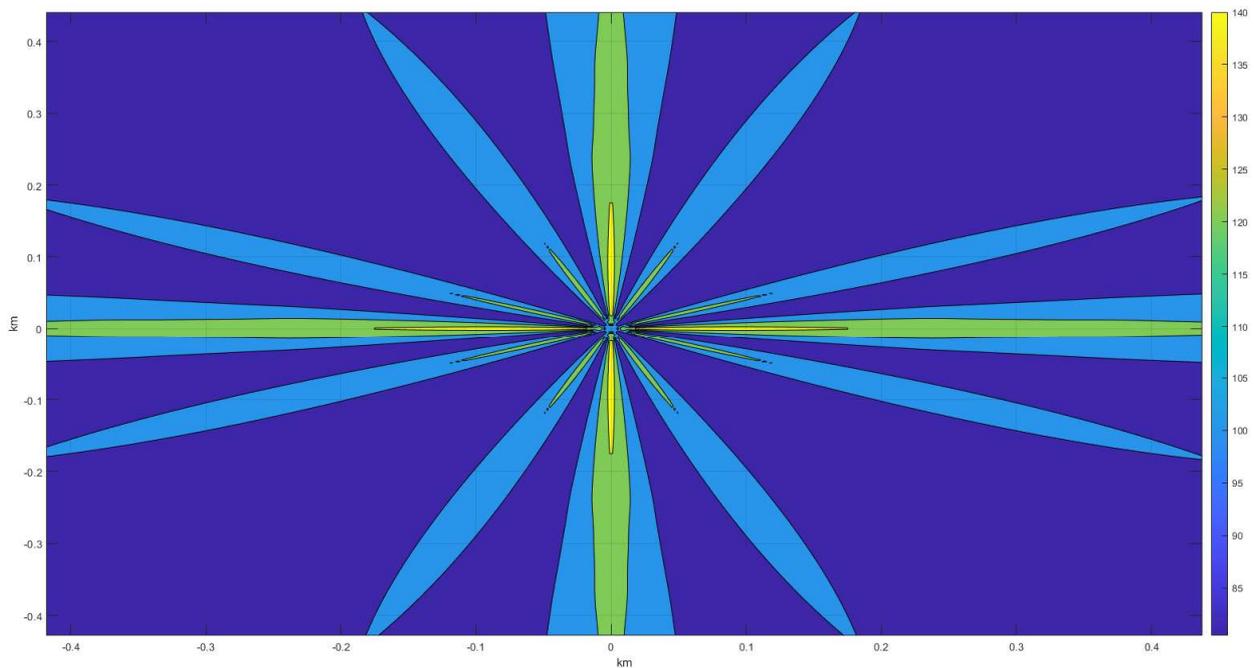
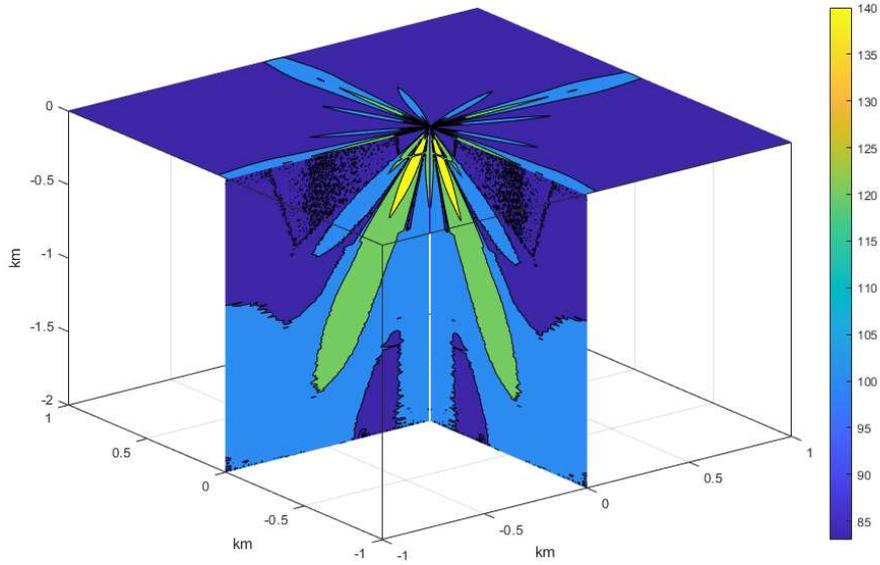


Figura 14 Valor SEL-HF-Weighted (dB ref $1\mu\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$ @ 1 m) máximo en la columna de agua. Fuente: Longranger



PROYECTO CALYPSO

Descripción

Fuente



Valor RMS (dB ref 1 μ Pa @ 1m) máximo en la columna de agua

Sentinel

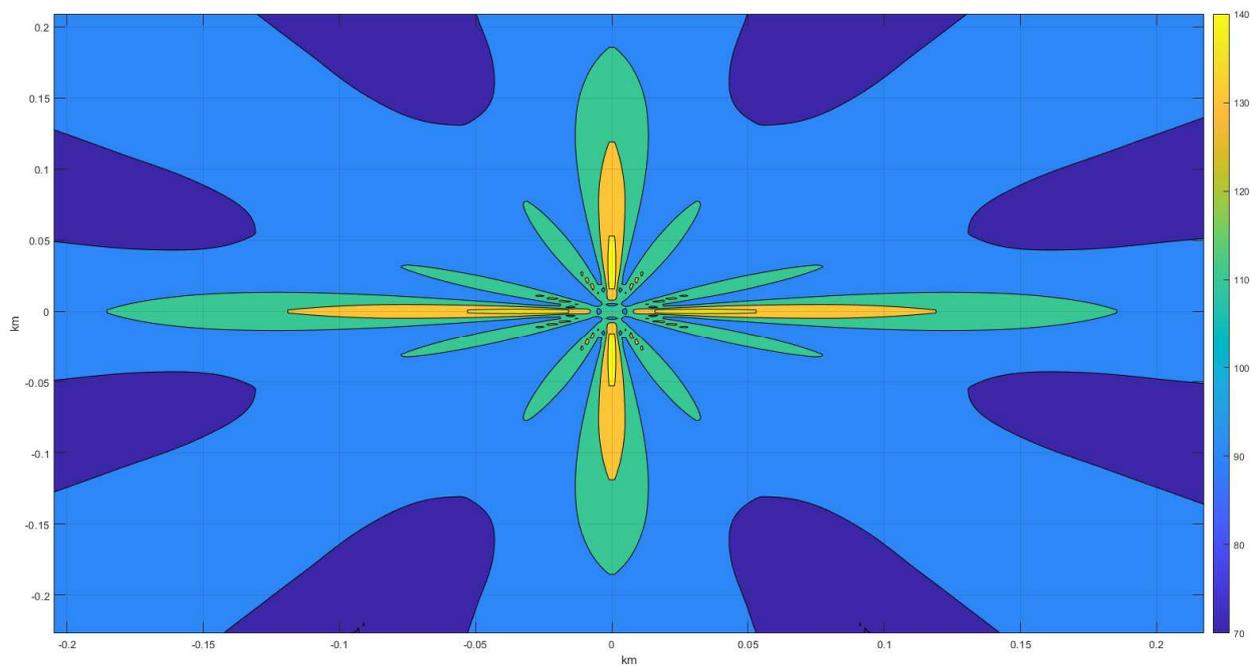
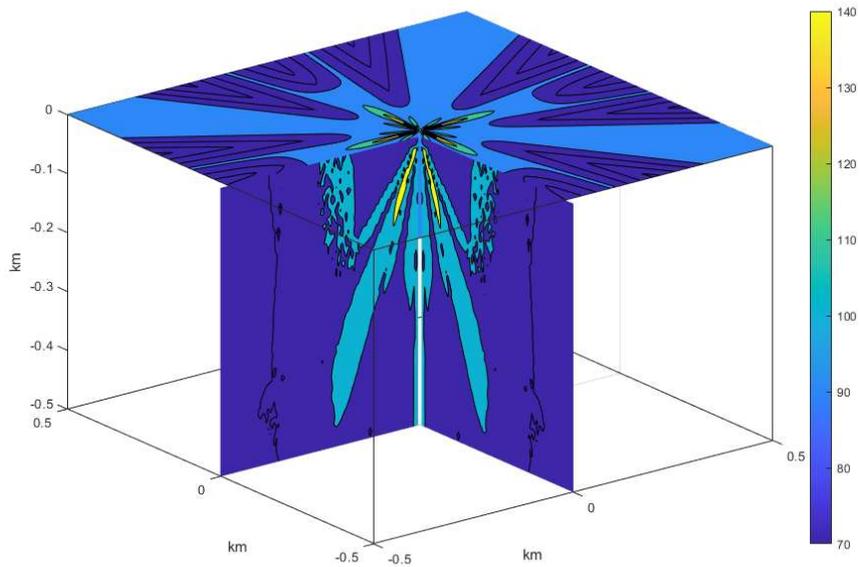


Figura 15 Valor RMS (dB ref 1 μ Pa @ 1m) máximo en la columna de agua. Fuente: Sentinel.



PROYECTO CALYPSO

Descripción

Fuente



Valor SEL-LF-Weighted (dB ref $1\mu\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$ @ 1 m) máximo en la columna de agua

Sentinel

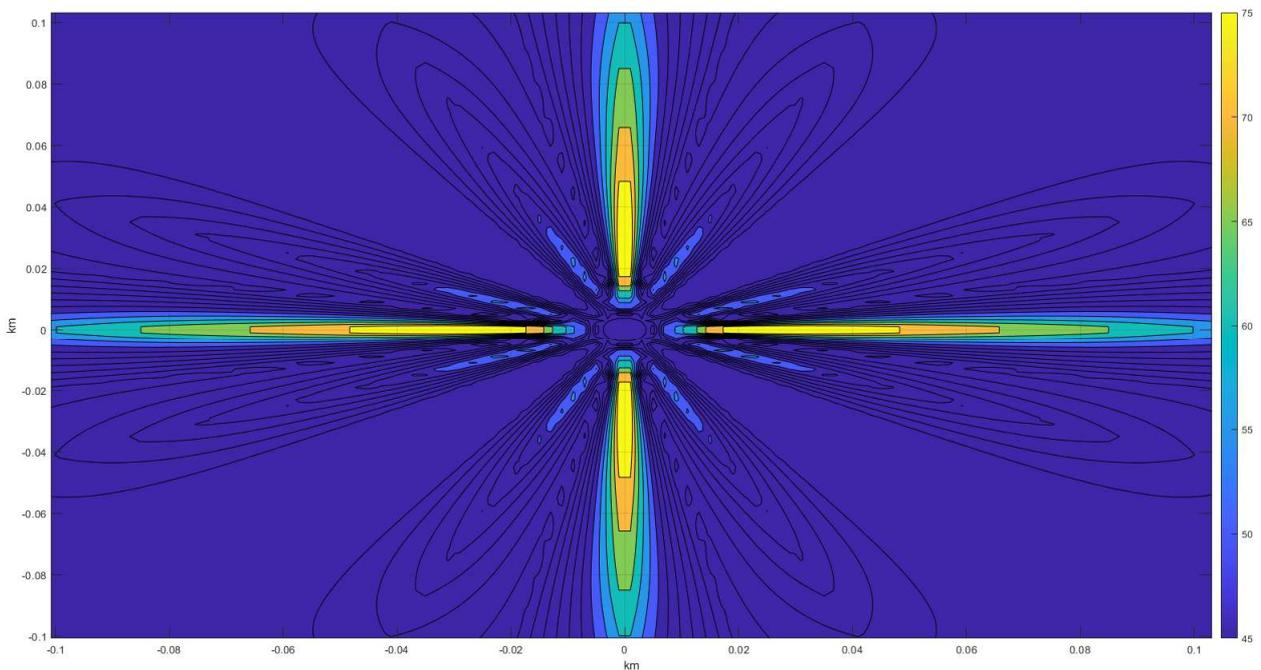
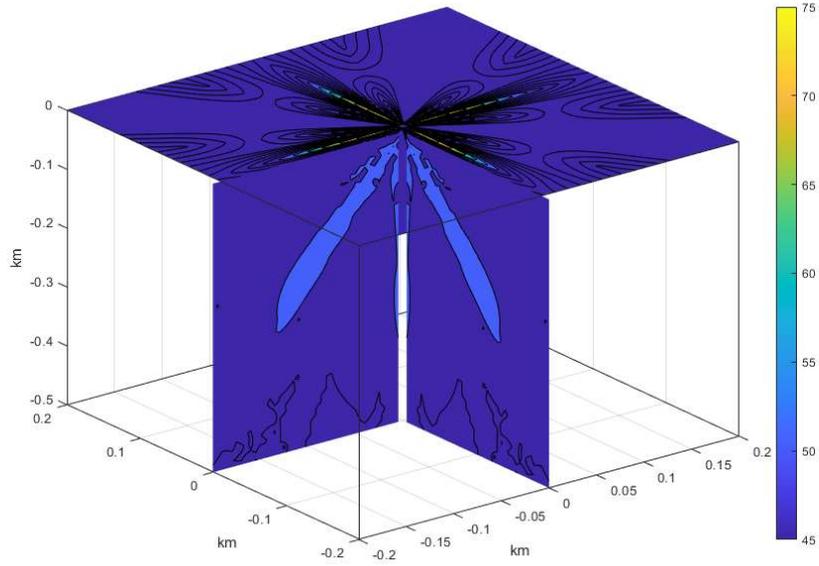


Figura 16 Valor SEL-LF-Weighted (dB ref $1\mu\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$ @ 1 m) máximo en la columna de agua. Fuente: Sentinel



PROYECTO CALYPSO

Descripción

Fuente



Valor SEL-HF-Weighted (dB ref $1\mu\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$ @ 1 m) máximo en la columna de agua

Sentinel

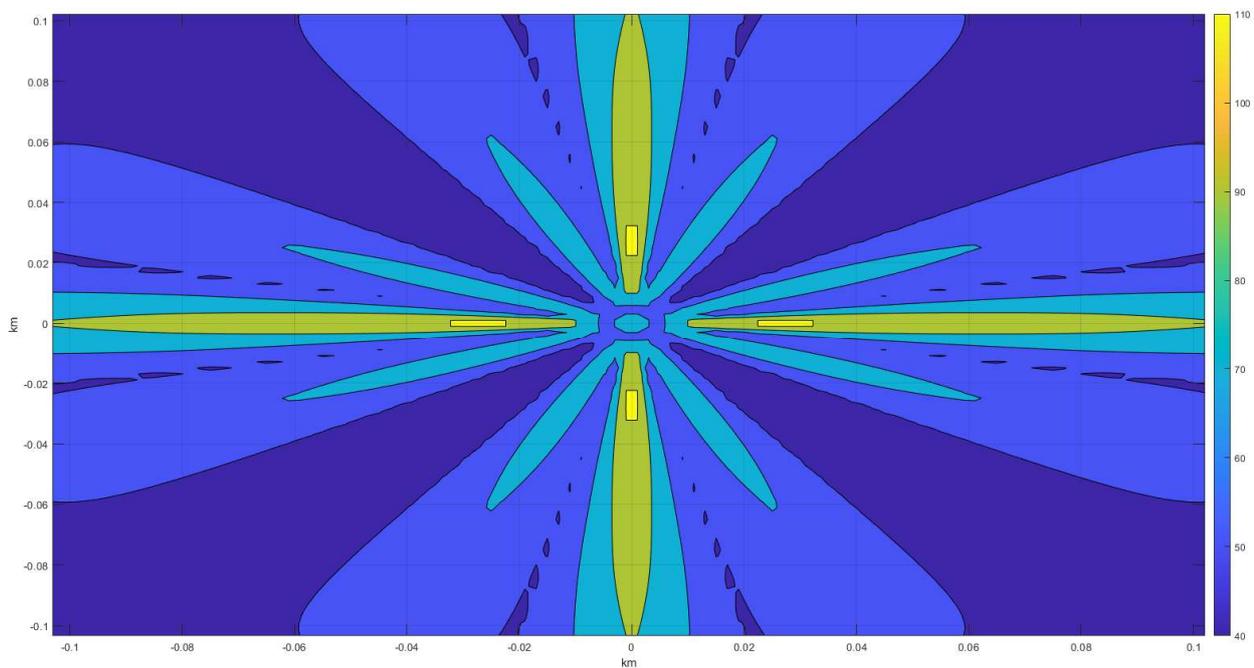
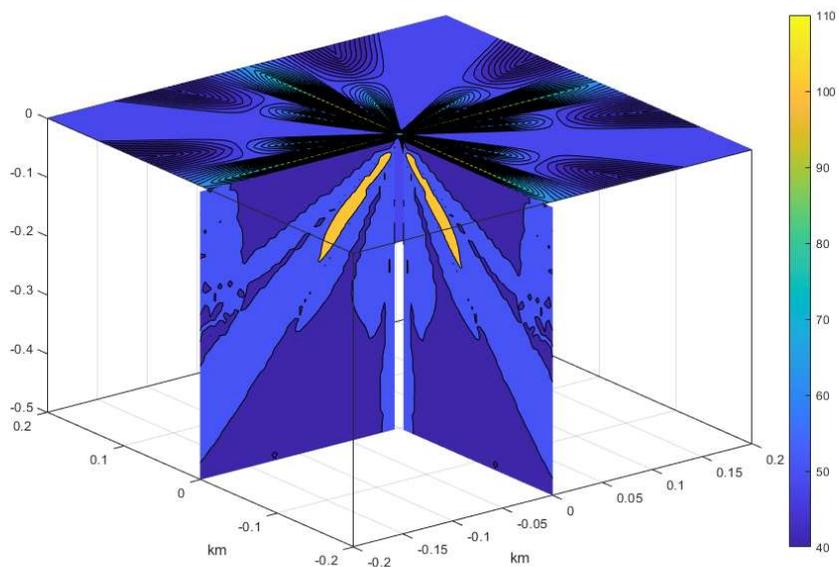


Figura 17 Valor SEL-HF-Weighted (dB ref $1\mu\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$ @ 1 m) máximo en la columna de agua. Fuente: Sentinel



4.2 LAGRANGIAN Y TRACKPOINT II

Por lo que se refiere a las fuentes secundarias consideradas en este proyecto, los rangos obtenidos se muestran a continuación:

FUENTE	VALOR	GRUPO	LIMITE	Rmax
AUDITIVO				
Lagrangian	RMS dB re 1μPa	TODOS	160	45 m @ 150 m de profundidad
Trackpoint II	RMS dB re 1μPa	TODOS	160	76 m @ 20 m de profundidad

Tabla 9 Rango de seguridad 160 dB RMS (ref 1μPa @ 1 m). Fuentes: Lagrangian y Trackpoint II

FUENTE	Índice	Grupo auditivo	LIMITE EXPOSICIÓN	Rmax
Lagrangian	SEL re 1μPa ² s	LF	168	
Trackpoint II	M-Weighted	HF	170	
FUENTE	SEL re 1μPa ² s	LF	168	
	M-Weighted	HF	170	

Tabla 10 Rango de seguridad SEL ponderado Southall 2019 LF y HF (ref 1μPa² · s @ 1 m). Fuentes: Lagrangian y Trackpoint II

Se muestran las caídas de nivel en las figuras Figura 18 y Figura 19:

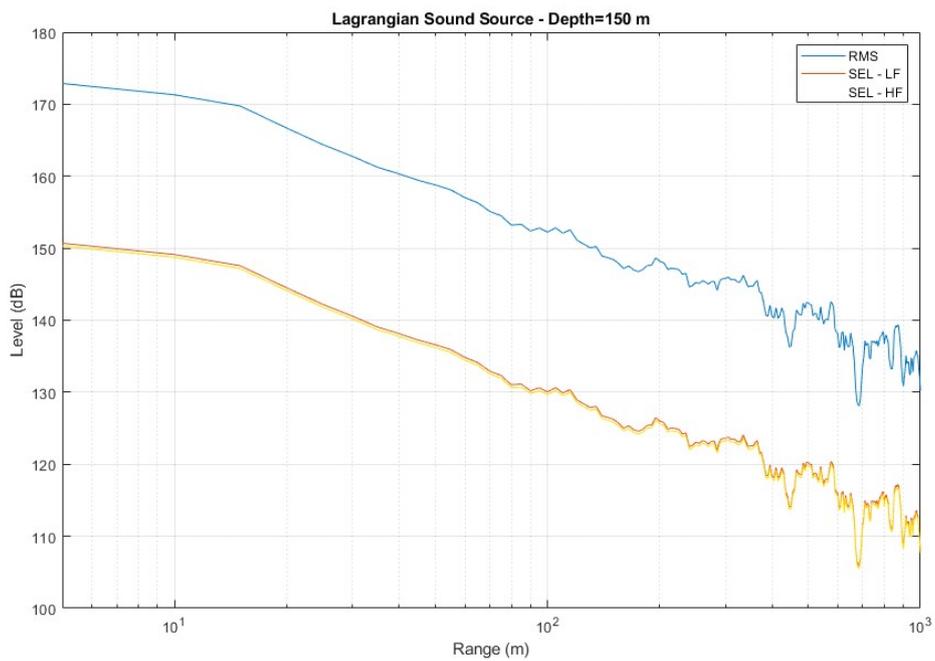


Figura 18 Curvas de caída RMS, SEL –LF Southall 2019 – HF Southall 2019 – Fuente: Lagrangian

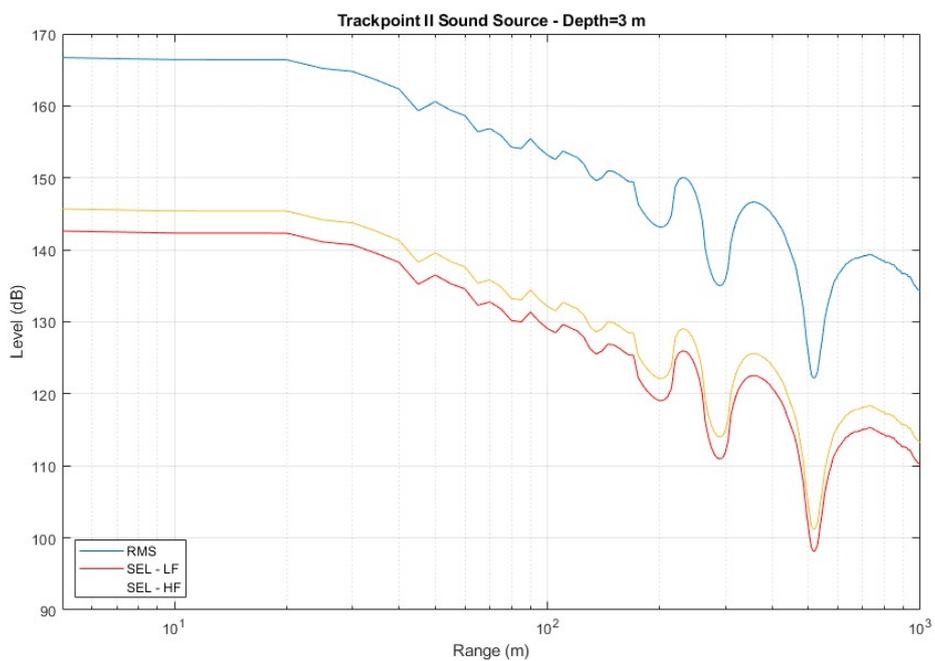


Figura 19 Curvas de caída RMS, SEL –LF Southall 2019 – HF Southall 2019 – Fuente: Trackpoint II



5 RESUMEN Y CONCLUSIONES

Se ha llevado a cabo un estudio de modelización acústica para predecir la variación de nivel de ruido producido por la campaña oceanográfica CALYPSO en el mar Balear.

Varios modelos de propagación acústica se han utilizado para estimar la pérdida de transmisión a las frecuencias de los perfiladores de corriente ADCP Longanger y ADCP Sentinel.

Se han considerado también dos fuentes de ruido secundarias, el Lagrangian Float y el Trackpoint II.

No se han tenido en cuenta las afectaciones TTS según el grupo auditivo de mamíferos marinos, que en ningún caso se alcanzan con las fuentes estudiadas en el proyecto, ya que el nivel considerado, que se deriva del permiso fue el 160dB RMS.

La zona de exclusión para las fuentes estudiadas se estableció en 250m para todas las fuentes.



6 BIBLIOGRAFÍA

Abbott R. & Bing-Sawyer E., 2002. Assessment of pile driving impacts on the Sacramento blackfish (*Orthodonmicrolepidotus*). Draft report prepared for Caltrans District 4. San Francisco, CA: Caltrans.

Acosta J., Canals M., Carbó A., Muñoz A., Urgeles R., Muñoz- Martín A., Uchupi E., 2004. Seafloor morphology and Plio-Quaternary sedimentary cover of the Mallorca Channel, Balearic Islands, western Mediterranean. *Marine Geology* (in press).

Andriquetto-Filhoa J. M., Ostrenskya A., Pieb M. R., Silvac U. A. & Boeger W. A., 2005. Evaluating the impact of seismic prospecting on artisanal shrimp fisheries. *Continental Shelf Research* 25, 1720–1727.

ANSI (American National Standards Institute). 1986. *Methods of Measurement for Impulse Noise (ANSI S12.7-1986)*. New York: Acoustical Society of America.

ANSI (American National Standards Institute). 2005. *Measurement of Sound Pressure Levels in Air (ANSI S1.13-2005)*. New York: Acoustical Society of America.

ANSI (American National Standards Institute). 2011. *Design Response of Weighting Networks for Acoustical Measurements (ANSI S1.42-2011)*. New York: Acoustical Society of America.

Au, W.W.L., and M.C. Hastings. 2008. *Principles of Marine Bioacoustics*. New York: Springer.

Booman C., Dalen H., Heivestad H., Levsen A., van der Meeren T., Toklum K., 1996. Effekteravlufftkanonskyting pa egg, larverogynell. UndersekelservedHauforskningsstituttetogtoclgiskLaboratorium, Universitet; Bergen. *FiskenogHavet*, 3.

Boyd I., Brownell R., Cato D., Clark C., Costa D.P., Evans P., Gedamke J., Gentry R., Gisiner R., Gordon J., Jepson P., Miller P., Rendell L., Tasker M., Tyack P., Vos E., Whitehead H., Wartzok D., Zimmer W. 2008. The effects of anthropogenic sound on marine mammals: A draft research strategy. European Science Foundation Marine Board Position Paper 13. 24 pp.

Britain and Ireland using bottom-mounted hydrophone arrays, October 1996-September 1997. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough. Collins, M. D. (1995). *Users guide for RAM versions 1.0 and 1.0p*. Naval Research Lab, Washington DC .

C. Weir Observations of marine turtles in relation to seismic airgun sound off Angola *Mar. Turt. Newsl.*, 116 (2007), pp. 17-20



- Camerlenghi A., Accettella D., Costa S., Lastras G., Acosta J., Canals M., Wardell N., Morphogenesis of the SW Balearic continental slope and adjacent abyssal plain, Western Mediterranean Sea. *Int J Earth Sci (GeolRundsch)* (2009) 98:735–750
- Carolyn J.S y Mark L.T. (2006). The effects of seismic airguns on cetaceans in UK waters. *J. Cetacean Res. Manage.* 8(3):255–263
- Castellote M., Christopher W. Clark, Lammers M.O (2012) Acoustic and behavioural changes by fin whales (*Balaenoptera physalus*) in response to shipping and airgun noise. *Biological Conservation* 147 (2012) 115–122
- Chicote C.A, Castellote M., Gazo M., 2011. Prospecciones Sísmicas Marinas: Acuerdo de medidas de mitigación del efecto en los cetáceos de aguas españolas e identificación de áreas sensibles. *Memoria técnica elaborada para MAGRAMA 2012.*
- Clark C.W., y Charif R.A. (1998). Acoustic monitoring of large whales to the west of
- Clark, C. W., and Ellison, W. T. (1988). "Numbers and distributions of bowhead whales, *Balaena mysticetus*, based on the 1985 acoustic study off Pt. Barrow, Alaska," *Reports of the International Whaling Commission* 38, 365–370.
- Cranford, T.W. and P. Krysl. 2015. Fin whale sound reception mechanisms: Skull vibration enables low frequency hearing. *PLOS ONE* 10:1-17
- Dekeling, R., Tasker, M., Ainslie, M., Andersson, M., André, M., Borsani, F., Brensing, K., Castellote, M., Dalen, J., Folegot, T., van der Graaf, S., Leaper, R., Liebschner, A., Pajala, J., Robinson, S., Sigray, P., Sutton, G., Thomsen, F., Werner, S., Wittekind, D., & Young, J. V. (2016). The European Marine Strategy: Noise monitoring in European marine waters from 2014. In A. N. Popper & A. Hawkins (Eds.), *The Effects of Noise on Aquatic Life II* (pp. 205–215). New York: Springer-Verlag.
- Deruiter, Stacym, Doukara, Kamel 2010. Loggerhead turtles dive in response to airgun sound exposure 127 10.1121/1.3383431. *The Journal of the Acoustical Society of America*
- DOD (Department of Defense). 2004. Department of Defense Instruction: DOD Hearing Conservation Program (HCP). Washington, D.C.: Department of Defense.
- Dunn, F. e. (2015). *Handbook of acoustics*. Ed. Thomas Rossing. Springer.
- Engås A., Løkkeborg S., Ona E., and VoldSoldal A., 1993. Effects of Seismic Shooting on catch and catch-availability of cod and haddock. *FiskenogHavet*, nr. 9, 99. 117.
- Erbe C., Dunlop R., Dolman S., 2018. Effects of Noise on Marine Mammals. Springer *Handbook of Auditory Research*. Chapter 10 <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8574-6>
- Erbe, C., C. Reichmuth, K. Cunningham, K. Lucke, and R. Dooling. 2016. Communication masking in marine mammals: A review and research strategy. *Marine Pollution Bulletin* 103:15-38.



- Erbe, C., C. Reichmuth, K. Cunningham, K. Lucke, and R. Dooling. 2016. Communication masking in marine mammals: A review and research strategy. *Marine Pollution Bulletin* 103:15-38.
- Etter, P. C. (2013). *Underwater acoustic modeling and simulation*. CRC Press.
- Finneran J.J 2016. Technical report of Auditory weighting functions and TTS/PTS exposure functions for marine mammals exposed to underwater noise. Space and Naval Warfare Systems Center Pacific (SSC Pacific)
- Finneran, J. J., Schlundt, C. E., Dear, R., Carder, D. A., and Ridgway, S. H. (2002). "Temporary shift in masked hearing thresholds in odontocetes after exposure to single underwater impulses from a seismic watergun," *J. Acoust. Soc. Am.* <https://doi.org/10.1121/1.1479150> 111, 2929–2940
- Fletcher, H. F., & Munson, W. A. (1933). Loudness, its definition, measurement, and calculation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 5(2), 82-108. <https://doi.org/10.1121/1.1915637>
- GEBCO. (n.d.). Retrieved June 2015, from www.gebco.netgeocontext. (n.d.). Retrieved June 2015, from www.geocontext.org
- Guerra A., González A. F., Rocha F., 2004: A review of records of giant squid in the north-eastern Atlantic and severe injuries in *Architeuthis dux* stranded after acoustic exploration. Paper CC: 29, ICES-Annual Science Conference, Vigo.
- Guerra A., González A. F., Rocha F., 2005: The giant squid: sex and violence in the deep sea. *ICES Newsletter* No. 42.
- Harris, C. M. (1998). *Handbook of acoustical measurements and noise control* (3rd ed.). New York: McGraw- Kastak, D., Reichmuth, C., Holt, M. M., Mulsow, J., Hill.
- Henderson, D., and R.P. Hamernik. 1986. Impulse noise: Critical review. *Journal of the Acoustical Society of America* 80:569-584.
- Henderson, D., B. Hu, and E. Bielefeld. 2008. Patterns and mechanisms of noise-induced cochlear pathology. Pages 195-217 in Schacht, J., A.N. Popper, and R.R Fay, eds. *Auditory Trauma, Protection, and Repair*. New York: Springer
- Houser, D., Finneran, J. J., & Jenkins, K. (2017). Killer whale (*Orcinus orca*) behavioral audiograms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 141(4), 2387-2398. <https://doi.org/10.1121/1.4979116>
- Houser, D.S., Helweg, D.A., and Moore, P.W.B. (2001). "A bandpass filter-bank model of auditory sensitivity in the humpback whale," *Aquatic Mammal*. 27, 82-91.
- J.J, F., & Schlundt C.E, D. R. (2002). Temporary shift in masked hearing thresholds in odontocetes after exposure to single underwater impulses from a seismic watergun. *J. Acoust. Soc. Amer.* 111: 2929-2940.



- Konagaya, T. 1980. The sound field of Lake Biwa and the effects of construction sound on the behavior of fish. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 46:129-132.
- Kryter, K. D. (1970). *Effects of noise on man*. New York: Academic Press. 633 pp.
- Lagardère, J.P. 1982. Effect of Noise on Growth and Reproduction of Crangon in Rearing Tanks, *Marine Biology* 71: 177-185.
- Laws, R., Hatton, L., & Haarsten, M. (1990). Computer modelling of clustered airguns. *First Break*, 8.9.
- Levine, S., P. Hofstetter, X.Y. Zheng, and D. Henderson. 1998. Duration and peak level as co-factors in hearing loss from exposure to impact noise. *Scandinavian Audiology Supplementum* 48:27-36.
- Lucke, K., U. Siebert, P.A. Lepper, and M-A. Blanchet. 2009. Temporary shift in masked hearing thresholds in a harbor porpoise (*Phocoenaphocoena*) after exposure to seismic airgun stimuli. *Journal of the Acoustical Society of America* 125:4060-4070
- Mackenzies, K. V. (1981). Nine - term equation for sound speed in the oceans. *The journal of the acoustical society of america*, 807-812.
- Martin KJ, Alessi SC, Gaspard JC, Tucker AD, Bauer GB, Mann DA. 2012. Underwater hearing in the loggerhead turtle (*Caretta caretta*): a comparison of behavioral and auditory evoked potential audiograms. *J Exp Biol* 215:3001-3009
- McAuley Edward, Jerome Gerald J, ElavskySteriani, Marquez David X, Ramsey Suzanne N, Predicting long-term maintenance of physical activity in older adults, *Preventive Medicine*, Volume 37, Issue 2, 2003, Pages 110-118, ISSN 0091-7435,
- McCauley R.D., Fewtrell, J., Popper A.N. High intensity anthropogenic sound damages fish ears *J. Acoust. Soc. Am.* (2003)
- Nachtigall, P. E., Supin, A. Y., Pawloski, J. L., and Au, W. W. L. (2004). "Temporary threshold shifts after noise exposure in the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) measured using evoked auditory potentials," *Marine Mammal Sci.* 24, 673–687.
- National Marine Fisheries Service. 2016. *Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing: Underwater Acoustic Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts*. U.S. Dept. of Commer., NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-55, 178 p
- National Marine Fisheries Service. 2018. *Revisions to: Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 2.0): Underwater Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts*. U.S. Dept. of Commer., NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59, 167 p.
- Nielsen, D. W., Bauman, M. J., & Brandt, D. K. (1986). Changes in auditory threshold during and after long duration noise exposure: Species differences. In R. J. Salvi, D.



- Henderson, R. P. Hamernik, & V. Colletti (Eds.), Basic and applied aspects of noise-induced hearingloss (pp. 281-293). New York: Plenum Press.
- NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). 1998. Criteria for a recommended standard: Occupational noise exposure. Cincinnati, Ohio: United States Department of Health and Human Services
- OSHA (Occupational Safety & Health Administration). 2013. OSHA Technical Manual. Washington, D.C.: United States Department of Labor.
- Parks, S.E., Ketten, D.R., O'Malley, J.T., and Arruda, J. (2007). "Anatomical predictions of hearing in the North Atlantic right whale," *The Anatomical Record* 290, 734–744.
- Parry G. D., Gason A., 2006. The effect of seismic surveys on catch rates of rock lobsters in western Victoria, Australia. *FisheriesResearch*, 79(3), 272-284.
- Popper AN, Fay RR (1973). Sound detection and processing by fish: a critical review. *J Acoust Soc Am* 53:1515–1529.
- Popper AN, Hastings MS (2009). The effects of anthropogenic sources of sound on fishes. *J FishBiol* 75:455–489
- Popper AN, Hawkins AD, Fay RR, Mann D, Bartol S, Carlson T, Coombs S, Ellison WT, Gentry R, Halvorsen MB. 2014. Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI. Springer
- Porter, M. B. (2011). The Bellhop manual and user's guide: Preliminary Draft. Heat, Light and sound Reserch. Tech Rep .
- Reichmuth, C. 2007. Assessing the hearing capabilities of mysticete whales. A proposed research strategy for the Joint Industry Programme on Sound and Marine Life on 12 September.
- Richardson W.J., Greene Jr C.R, Malme C.I Thomson., D.H. Marine mammals and noise, xvi, 576p. San Diego: Academic Press, 1995
- Salon, S., & al., e. (2003). Sound speed in the Mediterranean Sea: an analysis from a climatological data set. *Annales Geophysicae* , Vol 21.
- Samuel, Y, Morreale, SJ, Clark, CW, Greene, CH and Richmond, ME. 2005. Underwater, low-frequency noise in a coastal sea turtle habitat. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 117, 3: 1465-72
- Saunders, J.C., S.P. Dear, and M.E. Schneider. 1985. The anatomical consequences of acoustic injury: A review and tutorial. *Journal of the Acoustical Society of America* 78:833-860.
- Schlundt, C. E., Finneran, J. J., Carder, D. A., and Ridgway, S. H. (2000). "Temporary shift in masked hearing thresholds of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, and white



- whales, *Delphinapterus leucas*, after exposure to intense tones," *J. Acoust. Soc. Am.* <https://doi.org/10.1121/1.429420> 107, 3496–3508.
- Southall, B. L. (2019). Marine mammal noise exposure criteria: updated scientific recommendations for residual hearing effects. *Aquatic Mammals* , 45 (2).
- Southall, B. L., & al., e. (n.d.). Marine mammal noise exposure criteriari: Initial scientific recommendations. *Aquatic mammals* , 411-509.
- Southall, B.L., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Finneran, J.J., Gentry, R.L., Greene, Jr., C.R., Kastak, D., Ketten, D.R., Miller, J.H., Nachtigall, P.E., Richardson, W.J., Thomas, J.A. and Tyack, P.L. 2007. Marine mammal noise exposure criteria: Initial scientific recommendations. *Aquatic Mammals* 33: 411-521.
- Southwood, A Fritches, K Brill, R. and Swimmer, Y. 2008. Sound, chemical, and light detection in sea turtles and pelagic fishes: sensory-based approaches to bycatch reduction in longline fisheries. *EndangeredSpeciesResearch*. 5, 2-3: 225-38.
- Tubelli, A.A., Zosuls, A., Ketten, D.R., Yamato, M., and Mountain, D.C. (2012). "A prediction of the minke whale (*Balaenoptera acutorostrata*) middle-ear transfer function," *J. Acoust. Soc. Am.* 132, 3263-3272.
- Urick, R. J. (1967). *Principles of underwater sound for engineers*. Tata Mc Graw-Hill.
- Urick, R. J. (1984). *Ambient noise in the sea*. Catholic university of America, Washington DC.
- Viada ST, Hammer RA, Racca R, Hannay D, Thompson MJ, Balcom BJ, Phillips NW. 2008. Review of potential impacts to sea turtles from underwater explosive removal of offshore structures. *EnvironImpactAssessRev* 28:267-285
- Ward, W.D. 1962. Damage-risk criteria for line spectra. *Journal of the Acoustical Society of America* 34:1610-1619.
- Wardle, C. S., T. J. Carter, G. G. Urquhart, A. D. F. Johnstone, A. M. Ziolkowski, G. Hampson, and D. Mackie. 2001. Effects of seismic air guns on marine fish. *Continental Shelf Res.* 21: 1005-1027.
- Wartzok, D., and D.R. Ketten. 1999. Marine mammal sensory systems. Pages 117-175 in J.E. Reynolds III and S.A. Rommel, eds. *Biology of Marine Mammals*. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press.
- Yost, W. A. (1994). *Fundamentals of hearing* (3rd ed.). New York: Academic Press. 326 pp.
- Yost, W.A. 2007. *Fundamentals of Hearing: An Introduction*. New York: AcademicPress.

