

Mejora de la selectividad del arrastre en el marco de la Obligación de Desembarque de la P.P.C.

Informe Final

para:

Administración General del Estado, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación,
Secretaría General de Pesca, Dirección General de Pesca Sostenible. Subdirección General
de Investigación Pesquera y Recopilación de Datos

Sukarrieta, 20 de noviembre de 2025

Tipo documento	Informe Final
Título documento	Mejora de la selectividad del arrastre en el marco de la Obligación de Desembarque de la P.P.C.
Fecha	20/11/2025
Proyecto	Mejora de la selectividad del arrastre en el marco de la Obligación de Desembarque: Campaña de Selectividad a bordo del EMMA BARDAN (CASELE-SGP-2025)
Código	IM-25-CASELE-SGP
Cliente	Administración General del Estado, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General de Pesca, Dirección General de Pesca Sostenible.Subdirección General de Investigación Pesquera y Recopilación de Datos
Equipo de proyecto	Elsa Cuende Lluís Horrach Guzmán Díez Udane Martínez Xuban Zumeta Joseba Andoni Castresana Leire Citores Mikel Basterretxea
Responsable proyecto	Basterretxea Irigorri, Mikel (E-Mail: mbasterretxea@azti.es)
Revisado por	Santurtún Mazquiarán, Marina
Fecha	20 de noviembre de 2025
Aprobado por	Santurtún Mazquiarán, Marina
Fecha	20 de noviembre de 2025

Si procede, este documento deberá ser citado del siguiente modo:
Basterretxea M., Cuende E., Díez, G., Martínez, U., Zumeta, X., Castresana, J.A., Citores, L., Horrach, L., 2025. Mejora de la selectividad del arrastre en el marco de la Obligación de Desembarque de la P.P.C. Informe técnico elaborado por AZTI para Secretaría General de Pesca (MAPA).

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES	9
2. OBJETIVOS	11
3. INTRODUCCIÓN.....	13
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	16
4.1. El buque.....	16
4.2. Arte de pesca	17
4.3. Puertas	19
4.4. Dispositivo selectivo y configuraciones	28
4.5. Imágenes submarinas.....	37
4.6. Análisis estadístico de los datos	40
4.7. La campaña.....	43
5. UTILIZACIÓN DEL PRESUPUESTO ASIGNADO	45
6. RESULTADOS.....	46
6.1. COMPARATIVA ENTRE PUERTAS	46
6.2. Dispositivo selectivo y configuraciones	63
7. DISCUSIÓN.....	67
8. CONCLUSIONES.....	69
9. BIBLIOGRAFÍA.....	73
10. AGRADECIMIENTOS	75
11. ANEXO 1 – TABLA CON LA INFORMACIÓN DE LOS LANCES	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 . Características generales del buque Emma Bardan.....	17
Tabla 2: Número total de individuos por lance (N) y porcentaje total en peso (Porc. Peso) por lance estimado por le modelo de regresión según la variable tipo de puerta (P. Fondo, P. Pelágicas) y el p-valor asociado a esta variable, para las especies con un p-valor menor o cercano a 0.05.	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. B/O Emma Barda, atracado en el puerto de Pasaia antes de comenzar la campaña.....	16
Figura 2. Plano del arte de arrastre GOC73. Fuente: manual de campaña MEDITS... 18	
Figura 3. Esquema de armado del arte de arrastre GOC73. Fuente: Manual de campaña MEDITS.....	19
Figura 4. Puerta de arrastre Poly Ice Concord (Hampidjan).....	20
Figura 5. Puertas semipelágicas SPF (Morgère), en el puerto de Pasaia.	21
Figura 6. Medidor de consumo de la sala de máquinas. Total de litros consumidos (número de arriba) y consumo instantáneo (número de abajo).....	23
Figura 7. Proyección de los vectores de viento y mar sobre el rumbo del buque.	25
Figura 8. Coeficientes de correlación de Pearson entre parámetros para los lances con puertas semipelágicas.	26
Figura 9. Coeficientes de correlación de Pearson entre parámetros para los lances con puertas de fondo.....	26
Figura 10. A la izquierda, esquema de la pieza de división que se une a la red de 4 caras y que termina en dos salidas de circunferencia inferior de dos caras, a la que se unen los copos experimentales. A la derecha vista transversal de la pieza de división.....	30
Figura 11. Imagen subacuática de la pieza de división, tomada de la parte superior de la red y enfocando hacia los copos.	31
Figura 12. Simulaciones realizadas para las diferentes luces de malla del copo control. MS indica el tamaño de malla (mm) para el cual se ha realizado la simulación y OA el ángulo de apertura de dicha malla. Slack hace referencia a una malla sin tensión y se asumen que toma la forma de la sección transversal del pez que la intenta atravesar. Las líneas verticales corresponden a los TMRC de cada especie: bacaladilla 18 cm (rojo), jurel 15 cm (verde) y merluza 27 cm (azul).	32
Figura 13. Copo control extendido en la cubierta del barco.....	33

Figura 14. Carcasa (frame) diseñada para colocar la cámara y el foco.....	39
Figura 15. Mapa de la zona de trabajo con los trayectos de cada lance de arrastre efectuados. El color de las líneas indica el tipo de configuración adoptada en cada lance.	44
Figura 16. Información proporcionada por los sensores de las puertas.	48
Figura 17. Diagrama de cajas y bigotes de los consumos de combustible para las distintas puertas y rumbos.	50
Figura 18. Relación entre consumo instantáneo de combustible y velocidad de giro del motor principal	53
Figura 19. Mapa con los lances efectuados con cada tipo de puertas. Semipelágicas en verde y de fondo en azul.....	54
Figura 20: Proporción de capturas en número de individuos (panel de arriba) y en peso (panel de abajo) de cada especie (colores) para cada lance (eje x) según el tipo de puerta (Fondo a la izquierda, Pelágicas a la derecha) para los lances tipo control.	56
Figura 21: Proporción de capturas promedio teniendo en cuenta todos los lances tipo control en número de individuos (panel de arriba) y en peso (panel de abajo) de cada especie (colores) según el tipo de puerta (Fondo a la izquierda, Pelágicas a la derecha) para los lances tipo control.	57
Figura 22: Número total de individuos por lance para cada especie según el tipo de puertas (colores). Las rayas horizontales de cada caja representan la mediana de todos los lances de cada grupo. Los puntos son las observaciones individuales de cada lance.	59
Figura 23: Porcentaje en peso por lance para cada especie según el tipo de puertas (colores). Las rayas horizontales de cada caja representan la mediana de todos los lances de cada grupo. Los puntos son las observaciones individuales de cada lance.	60
Figura 24: Número total de individuos por lance y porcentaje total en peso por lance estimado por el modelo de regresión según la variable tipo de puerta (P. Fondo, P. Pelágicas), para las especies con un p-valor menor o cercano a 0.05. Los puntos	

representan la estima puntual del modelo y las rayas verticales los intervalos de confianza del 95%.	61
Figura 25. Distribución de tallas de cada especie capturadas con las puertas de fondo (azul) y semipelágicas (rojo).	62
Figura 26. Comparación de las tallas capturadas con puertas semipelágicas y de fondo para cada especie. Si los intervalos de confianza se solapan con el valor 0,0, no hay diferencias significativas entre ambos tipos de puertas. Si los intervalos están completamente por encima de 0,0, las puertas semipelágicas capturan más que las de fondo. Si los intervalos están completamente por debajo de 0,0, las puertas semipelágicas capturan menos que las de fondo.....	63
Figura 27. Curvas de reparto de capturas entre el copo control y el experimento en cuestión (T0, T45 o T90).....	64
Figura 28. Curvas de selectividad las diferentes especies y experimentos.	65

1. ANTECEDENTES

Las campañas de selectividad que se llevan a cabo en los buques comerciales permiten testar la eficacia de los dispositivos selectivos en las condiciones reales de la pesquería comercial. Por ello su valor es indiscutible a la hora de identificar las propiedades selectivas de un dispositivo determinado. Sin embargo, las pruebas que se realizan a bordo de estos buques comerciales de pesca cuentan con una serie de inconvenientes, siendo el principal de ellos el elevado costo que supone el alquiler total de un buque comercial de pesca. De este modo, las pruebas a realizar deben tener una duración limitada en función del presupuesto disponible, que habitualmente suele ser reducido. Por lo tanto, las pruebas a realizar a bordo de estos barcos tienen que contar con garantías de éxito que eviten la pérdida de tiempo/dinero. El empleo de buques oceanográficos en los que realizar los ajustes necesarios en los dispositivos previos a las pruebas en la pesca comercial aporta seguridad y contribuye a optimizar el tiempo a bordo de estos buques.

Este año, se han incluido en el proyecto pruebas sobre el impacto del arte en el fondo marino. Se han incluido pruebas de mar con puertas de arrastre semipelágicas, para evaluar la reducción en el impacto que potencialmente tienen este sistema, innovador para la pesquería de arrastre de fondo en el Golfo de Bizkaia.

Las puertas semipelágicas, no solo tienen el potencial de reducir el impacto sobre el fondo, sino que ofrecen una menor resistencia durante el arrastre, reduciendo el consumo de combustible y, por lo tanto, la huella de carbono. Este posible beneficio ambiental también se caracterizará mediante la comparativa con las puertas tradicionales de arrastre de fondo.

Desde la Secretaría General de Pesca se ha puesto a disposición del equipo de Tecnología Pesquera de AZTI el B/O Emma Bardán de 29 metros de eslora total. Este buque cuenta con los elementos necesarios para llevar a cabo pescas de arrastre, entre los que se incluye una red de arrastre de fondo. De cara a la realización de la actual campaña de selectividad, se ha preparado un dispositivo que se adapta a la red del

barco y se modifica a bordo para adoptar diferentes configuraciones. Con los dispositivos adaptados a la red (GOC 73) se ha llevado a cabo la campaña para la mejora de la selectividad de la red de arrastre de fondo a la baka en la zona ICES 8b, en aguas de jurisdicción francesa. Si bien los resultados de esta campaña se aplican a la flota de arrastre que faena en la costa de Francia, también pudieran serlo para la flota de Caladero Nacional del Cantábrico y Noroeste debido a su proximidad y similitud de las especies capturadas.

2. OBJETIVOS

El objetivo genérico de este proyecto es contribuir a adecuar la actividad de la flota pesquera de arrastre a la regulación europea en relación con la Obligación de Desembarco (OD) por medio de una campaña de pesca experimental de mejora de la selectividad del arrastre de fondo a bordo del B/O Emma Bardan. Este año, con el añadido de la evaluación de la mejora en el impacto en el fondo.

Los objetivos parciales son:

- Diseñar y confeccionar dispositivos innovadores y específicos para la problemática del arrastre de fondo de la zona ICES 8abd que permitan mejorar la selectividad, reduciendo la captura no deseada de las especies limitantes. Principalmente merluza (*Merluccius merluccius*), jurel (*Trachurus trachurus*), bacaladilla (*Micromesistius poutassou*), gallos (*Lepidorhombus spp.*) y caballa (*Scomber scombrus*).
- Probar los dispositivos en una red de arrastre de fondo, evaluando cualitativa y cuantitativamente el efecto en la selectividad del arte.
- Evaluar el impacto de las puertas semi-pelagicas respecto a las tradicionales de fondo.
- Analizar el patrón de consumo de combustible de las puertas semi-pelagicas y compararlo respecto a las tradicionales de fondo.
- Observación directa mediante imágenes submarinas de los dispositivos colocados en la red y del comportamiento de las diferentes especies de peces frente a ellos.

Este estudio se ha centrado en la selectividad para la merluza y gallo, especies para las que se cuenta con una exención de minimis en el marco de la OD, cuya continuidad está condicionada a la realización de nuevos experimentos para mejorar la selectividad de las artes de pesca. Adicionalmente a esas dos especies principales, se han tenido igualmente en consideración otras especies sujetas a TAC y por tanto también a la OD,

a saber: jurel (*Trachurus trachurus*), caballa (*Scomber scombrus*), bacaladilla (*Micromesistius poutassou*) y ochavo (*Capros aper*).

Este 2025, además, se ha caracterizado toda la captura que ha venido en todos los lances de pesca, incluyendo peces e invertebrados. El objetivo ha sido obtener una información detallada del total capturado, ya que cada vez más se tiene en cuenta la biodiversidad del fondo y la fauna para una gestión pesquera integral.

3. INTRODUCCIÓN

Las nuevas medidas de reducción/supresión del descarte asociadas a la Política Pesquera Común (PPC) que entró en vigor para la flota de arrastre al fresco en 2016, suponen cambios operativos que afectan a su rentabilidad. Esta flota de arrastre al fresco opera tanto en la Costa de Francia (Divisiones 27.8abd) como en el caladero del Cantábrico y Noroeste (Divisiones 27.8c y 27.9a). En este contexto, resulta necesario tratar de mejorar la selectividad de esta pesquería, tratando de reducir la captura no deseada de las especies sujetas a TAC, con una especial atención a aquellas que pueden resultar más limitantes (especies estrangulantes) debido principalmente a su escasa cuota. Se busca con todo ello como fin último, mantener la actividad de las empresas de modo rentable sin que su viabilidad se vea comprometida.

Las campañas de selectividad que se llevan a cabo en los buques comerciales permiten testar la eficacia de los dispositivos selectivos en las condiciones reales de la pesquería comercial. Por ello su valor es indiscutible a la hora de identificar las propiedades selectivas de un dispositivo determinado. Sin embargo, las pruebas que se realizan a bordo de estos buques comerciales de pesca tienen ciertos inconvenientes, siendo el principal de ellos el elevado coste que supone el alquiler de un buque comercial de pesca. Ello supone a menudo que las pruebas a realizar tengan una duración limitada en función del presupuesto disponible, que habitualmente suele ser limitado. Por lo tanto, las pruebas a realizar a bordo de estos barcos tienen que contar con garantías de éxito que eviten la pérdida de tiempo/dinero. El empleo de buques oceanográficos en los que realizar los ajustes necesarios en los dispositivos previos a las pruebas en la pesca en buques comerciales aporta contribuye a optimizar el trabajo y tiempo de pruebas a bordo de estos buques.

El B/O Emma Bardán cuenta con los elementos necesarios para llevar a cabo pesca de arrastre, entre los que se incluye una red de arrastre de fondo GOC 73, de tipo baka, con la que se pretenden realizar pruebas de ajustes de dispositivos selectivos en condiciones próximas a las de la flota comercial. De cara a la realización de la actual

campaña de selectividad, se ha preparado un copo con su correspondiente dispositivo selectivo adaptable a la red del barco. Con el dispositivo adaptado a la red se ha llevado a cabo la campaña para la mejora de la selectividad de la red de arrastre de fondo a la baka. En estas campañas se llevan a cabo pruebas que resultarían prácticamente imposibles en buques comerciales debido a su elevado coste.

Durante la campaña de 2025 se han realizado pruebas con un dispositivo que permitía dividir la circunferencia del copo en dos circunferencias de diámetro inferior, uno superior y otro inferior, de forma que se han acoplado copos de diferente tipología a estos compartimentos. Se han fabricado cuatro tipos diferentes de copos de arrastre, el primero de ellos ha sido un copo en su configuración T90, el segundo un copo en su configuración T45 o de malla cuadrada, el tercero un copo T0 y el cuarto un copo control. Alternando las posiciones de los copos en las posiciones superior e inferior, se han conseguido configuraciones diferentes, que se han comparado entre sí para ver la diferencia en la captura entre ellos.

Con la intención de reducir el impacto en el fondo, se ha propuesto una modificación del arte, tanto en la red como en las puertas. Mediante la utilización de puertas semipelágicas se tratará de reducir el tiempo que estas impactan con el fondo en la operativa de arrastre. Estas puertas tienen la opción de poder ajustar la altura sobre el lecho marino a la que operan, por lo que pueden “volar” a cierta altura del fondo durante prácticamente toda la operación de arrastre, reduciendo considerablemente el impacto sobre el fondo. A su vez, se probará una nueva red que tratará de tener un menor contacto con el fondo, con la consiguiente reducción del impacto y del escape de ciertas especies estrechamente asociadas al lecho marino. De este modo, se mejorará el perfil de captura, dejando escapar a especies con bajo interés comercial y centrándose en la captura del bacalao, especie objetivo de la pesquería.

Además de la posible reducción de impacto y mejora de la captura, la utilización del nuevo sistema espera conseguir una reducción del consumo durante el arrastre. La reducción del consumo de las puertas semipelágicas respecto a las convencionales ha sido demostrado en varias ocasiones por diferentes estudios (Franco et al., 2013; Grimaldo et al., 2015; Eayrs et al., 2012; y otros), si bien las características concretas de los barcos de estos estudios no son iguales a las de los nuestros; a pesar de ello,

hay indicios para pensar que pueda tener efectos similares. La nueva red, también espera contribuir a la reducción de consumo, ya que ofrece una menor resistencia al arrastre que la red convencional.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. El buque

Para la realización de la campaña de selectividad de arrastre de fondo, se ha contado con el B/O Emma Bardán (Figura 1), cuyas características se muestran en la Tabla 1. Este buque está preparado para la realización de pescas de arrastre, tanto de fondo como pelágico, para lo que el buque cuenta con sus correspondientes maquinillas de cable de arrastre y malletas. Asimismo, cuenta con un carretel o tambor de red para la estiba del arte (un segundo arte de arrastre completo permanece estibado en el buque para posible cambio en caso de rotura del primero).



Figura 1. B/O Emma Barda, atracado en el puerto de Pasaia antes de comenzar la campaña.

Tabla 1 . Características generales del buque Emma Bardan

Buque de Investigación Oceanográfica y Pesquera Emma Bardan	
Eslora total	29 m
Eslora entre perpendiculares	25,85 m
Manga de trazado	7,5 m
Puntal a la cubierta principal	3,7 m
Puntal en proa	4,7 m
Calado	2,6 m
Registro bruto	200 GT
Registro neto	60 NT
Potencia	900 kW
Velocidad	12 nudos
Autonomía	4600 millas
Nº Tripulantes	11

4.2. Arte de pesca

La red empleada en la campaña fue la denominada GOC73 (Figura 2), con la configuración de armado del arte en cuanto a flotabilidad, lastre y longitud de los vientos y malletas mostrado en la Figura 3. Esta red está construida según los estándares del manual de trabajo para campañas de arrastre del Mediterráneo (MEDITS Working Group 2016).

Para interpretar el esquema de la red, los números de la parte izquierda nos indican el material de la red, la luz de malla y el número de mallas en cada tramo. Dentro del dibujo de la red, el número (en cada línea horizontal) nos indica el número de mallas de ese corte horizontal. Así, en la boca empieza con 178 mallas de 140 mm y se estrecha hasta 162 mallas de 140 mm. En el siguiente tramo empieza con 189 mallas de 120 mm y se estrecha hasta 117 mallas de 120 mm, el siguiente de 175 mallas de 80 mm hasta 107, el siguiente de 142 de 60 mm hasta 80, luego de 120 de 40 mm hasta 60 y en la manga

Los números que aparecen en la parte derecha de la red (3N2B, 1N3B, AN...) nos indican el tipo de corte utilizado para realizar el trazado diagonal. AN significa que es un corte recto. El N y el B nos indican por donde has cortado la malla, de esta manera podrás conseguir el trazado adecuado.

Sería una red de 4 caras, por lo que en el copo habría 480 mallas de 20 mm, 240 mallas en plan alto y otras 240 en el plan bajo. En la manga habría 240 mallas de 40 mm, 120 mallas en plan alto y otras 120 en el plan bajo.

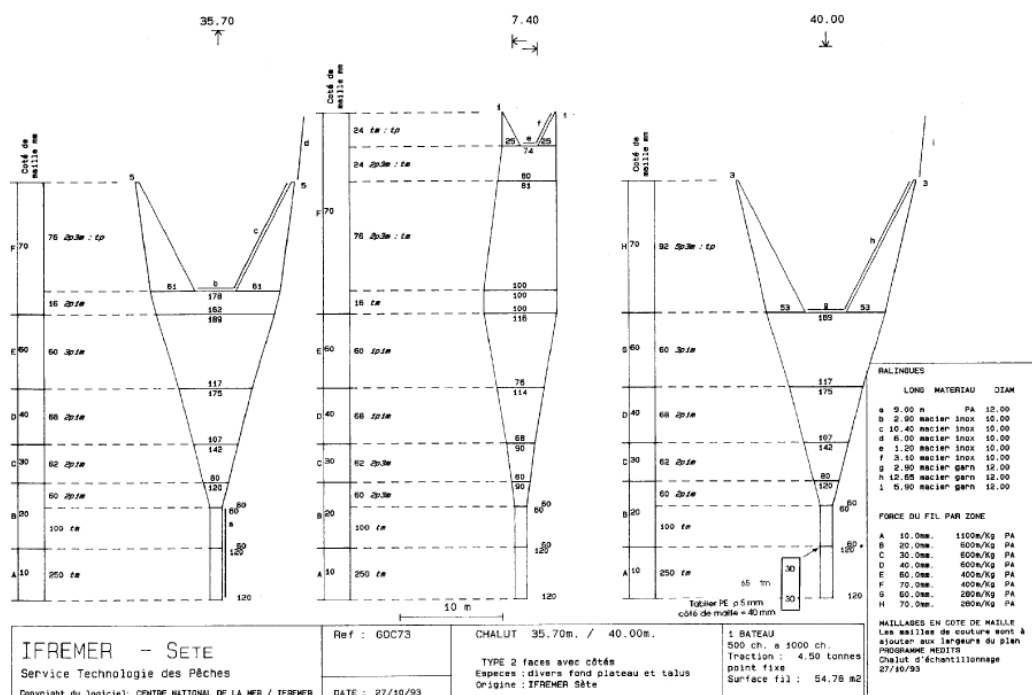


Figura 2. Plano del arte de arrastre GOC73. Fuente: manual de campaña MEDITS.

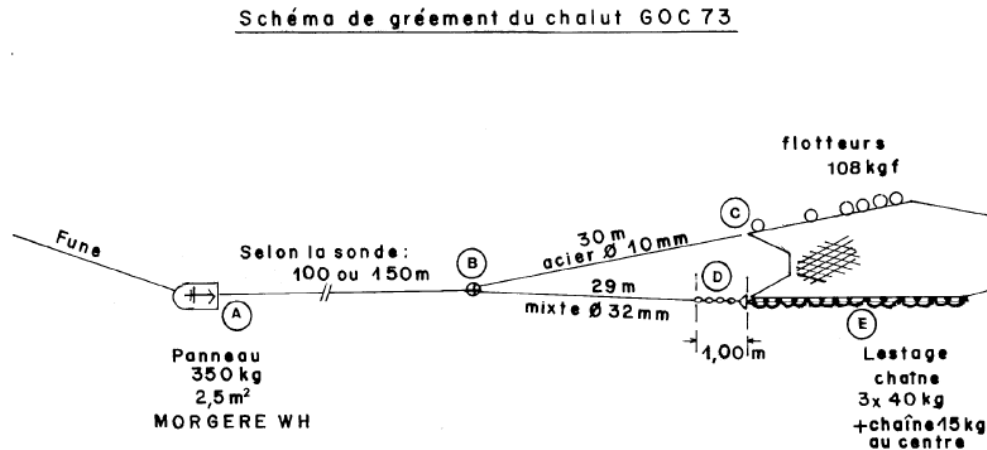


Figura 3. Esquema de armado del arte de arrastre GOC73. Fuente: Manual de campaña MEDITS.

4.3. Puertas

Tradicionalmente, el buque emplea unas puertas de arrastre de marca Poly Ice Concord, fabricadas por Hampidjan, de 2,2m² de superficie y 300kg de peso. (mas 100kg añadidos en el patín) adecuadas a las características de la red y del buque. Las características de las puertas pueden verse en la Figura 4. La velocidad de arrastre se sitúa entre los 2,9 y los 3,3 nudos.

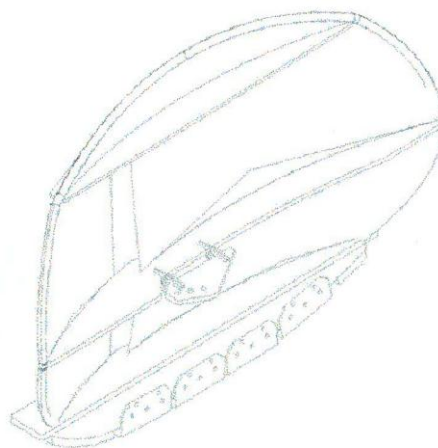


Figura 4. Puerta de arrastre Poly Ice Concord (Hampidjan).

Las nuevas puertas semipelágicas las ha suministrado el grupo Eurored (EURO RED VIGO, S.L.), se trata del modelo SPF fabricado por Morgère. Son unas puertas de 1600x1950 mm de 350 kg de peso (Figura 5).



Figura 5. Puertas semipelágicas SPF (Morgère), en el puerto de Pasaia.

Vienen montadas con sus correspondientes pies de gallo y sus cajetines para colocar los sensores correspondientes de Marport.

4.3.1. Pruebas de impacto

Utilizando puertas semipelágicas en lugar de puertas de fondo, se espera obtener mejoras en la reducción del impacto con el fondo durante la maniobra de arrastre: concretamente el área donde las puertas impactan con el fondo.

En este sentido, diversos estudios (Nguyen et al., 2014; Zhuang et al., 2024) demuestran que las puertas semipelágicas tienen un menor impacto en el fondo. Esto es evidente,

ya que unas puertas que no tocan el fondo necesariamente tienen un menor impacto. Este hecho ha sido comprobado en un estudio llevado a cabo en instalaciones artificiales “flume tank” por Sala et al. (2009), en el que se testearon diferentes ángulos de ataque de las cadenas a las puertas para ver su influencia en el comportamiento de las puertas. La cuestión reside en monitorizar en todo momento la posición de la puerta sobre el fondo. Aunque las puertas semipelágicas “vuelan” a cierta distancia del fondo prácticamente durante toda la maniobra de arrastre, puede ocurrir que, en determinados momentos (inicio de la maniobra, reducción de velocidad por embarre de la red o algún otro elemento, etc.), la puerta toque el fondo. Por lo tanto, la clave está en determinar, primero, si existe contacto y, segundo, en qué medida.

Para poder monitorizar el funcionamiento de las puertas es necesario utilizar sensores adecuados, que proporcionen información a tiempo real de la distancia horizontal entre puertas, profundidad a la que se encuentran y la distancia respecto al fondo. En este caso, se utilizaron unos sensores Marpor Door Explorer XL.

Esta información es esencial para evaluar el impacto en el fondo, ya que nos indica en todo momento la distancia a la que la puerta avanza sobre el fondo. En caso de haber contacto, se determinará en qué proporción ocurre para caracterizar el impacto.

4.3.2.Pruebas de consumo

Para medir el consumo del buque durante el arrastre se utilizó la información proporcionada por el equipo de medición que el barco ya tiene instalado en la sala de máquinas (Figura 6). Este aparato nos proporciona dos valores:

- 1- Total de combustible consumido (Litros).
- 2- Consumo instantáneo (Litros/hora).



Figura 6. Medidor de consumo de la sala de máquinas. Total de litros consumidos (número de arriba) y consumo instantáneo (número de abajo)

El primero es un valor acumulado, por lo tanto, anotando el valor al inicio del lance y al final, conseguimos, mediante la diferencia entre ambos valores, los litros consumidos durante ese periodo. Con este valor, y sabiendo el tiempo (segundos) transcurrido entre la anotación inicial y la final, obtenemos el consumo en litros/hora.

El segundo es el consumo instantáneo. Únicamente se ha anotado y utilizado a modo de referencia, ya que el consumo instantáneo es un valor muy variable, y resulta menos preciso que el obtenido mediante el cálculo anterior. A su vez, se han anotado datos de puente que pueden tener relación o influencia en el consumo. La Tabla 2 muestra los parámetros anotados (además de los consumos acumulados) para la comparativa de consumo.

Tabla 2 . Parámetros anotados en el puente durante las pruebas de mar

Variable	Unidad	Descripción
Fecha	[dd/mm/yyyy]	Día en el que se realizó cada lance
Nº Lance	[-]	Identificador de cada lance
Hora de largado/virado	[hh:mm:ss]	Hora al comienzo del arrastre y al final, para cálculo de duración de operación de arrastre.
Latitud y longitud largado/virado	[°; ‘; “]	Posición exacta del buque al comienzo y al final de la operativa de arrastre, para cálculo de distancia arrastrada.
Fondo largado/virado	[m]	Profundidad a la que se encuentra el fondo al comienzo y final de la operativa de arrastre para cálculo de posibles cambios de pendiente durante el arrastre.
Cable	[m]	Longitud del cable que arrastra las puertas.
Velocidad de giro	[rpm]	Velocidad de giro del motor principal.
Apertura puertas	[m]	Distancia entre las puertas.
Altura puertas fondo	[m]	Distancia desde las puertas hasta el fondo.
Altura Red	[m]	Distancia desde la parte superior de la boca de la red al fondo.
Velocidad	[millas/h]	Velocidad del buque (velocidad absoluta, recogida por GPS).
T_agua	[°C]	Temperatura del agua.
Rumbo	[°]	Rumbo del barco durante el arrastre.
Viento_kn	[kn]	Intensidad del viento.
Viento_dir	[°]	Dirección de la que proviene el viento.
Mar_m	[m]	Altura del oleaje.
Mar_dir	[°]	Dirección de la que proviene el mar.
Corriente	[-]	Anotaciones de la tripulación sobre la dirección de la corriente.
Exp	[-]	Identificador del experimento. Configuración de la malla.
Tipo de puertas	[SP, Fondo]	Tipo de puerta empleada en el lance.
Consumo	[L/h]	Consumo instantáneo del motor

Para este análisis, no solo se han tenido en cuenta el uso de las distintas puertas, sino el resto de las variables que hayan podido influir en el consumo de combustible del barco. Se han considerado las siguientes variables: diferencia de fondo entre comienzo y final de los lances, longitud de cable, velocidad de giro del motor principal, apertura de puertas, altura de las puertas, altura de la red, velocidad del buque, rumbo, proyecciones de viento y mar y consumo instantáneo de combustible. Las proyecciones de viento y mar se han calculado para analizar en una sola variable el efecto de la intensidad del viento o del mar junto con su dirección, ya que la dirección es una variable circular, y analizar su correlación con otros parámetros podría inducir a error. Para ello, se ha calculado de la siguiente forma (Figura 7):

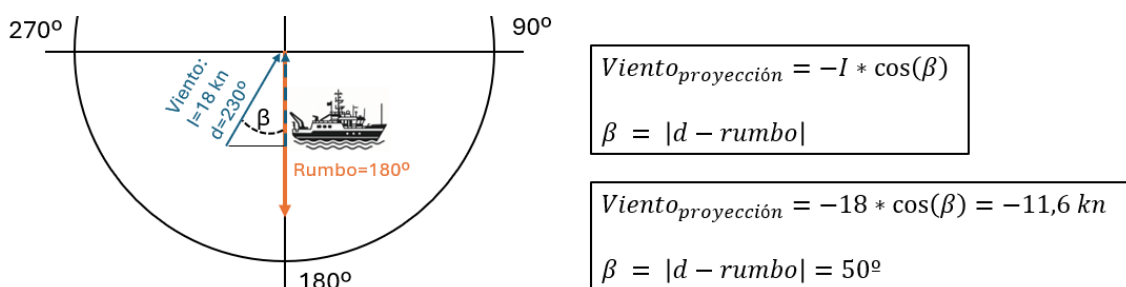


Figura 7. Proyección de los vectores de viento y mar sobre el rumbo del buque.

A modo de ejemplo, en la figura se muestra un viento que proviene del suroeste (230°) para un rumbo de 180°. Este es un viento desfavorable para el barco ya que va en contra de su rumbo, pero a efectos prácticos, se tiene solamente la intensidad (18 nudos) y la dirección (230°) registrada. Para analizar el impacto de este viento en el consumo, se obtiene el componente del vector del viento que va en contra de la dirección del buque, que es -11.6kn. De esta forma, el signo negativo muestra la dirección contraria del viento con respecto al buque, y el número muestra la parte de este viento que crearía una resistencia de avance en el buque. Esta es una simplificación, que permite analizar si vientos muy desfavorables o favorables impactaron en el consumo. En realidad, el viento transversal provocaría una deriva que habría que tener en cuenta, pero se ha omitido

ya que el objetivo de este cálculo es únicamente analizar si el viento tuvo un impacto en el consumo o no.

Para analizar posibles efectos de las demás variables, se ha calculado el coeficiente de correlación de Pearson tanto para las puertas de fondo como para las semipelágicas (Figura 8 y Figura 9).

Puertas SP	Diferencia Fondo	Cable	R.P.M	Abertura puertas	Altura puertas fondo	Altura Red	Velocidad	Rumbo	Proyección viento	Proyección mar	Consumo
Diferencia Fondo	1.00	0.49	-0.09	0.61	-0.11	-0.25	0.20	-0.17	-0.06	0.08	0.05
Cable	0.49	1.00	0.30	0.79	0.09	-0.64	0.55	-0.45	0.09	0.13	0.21
R.P.M	-0.09	0.30	1.00	0.14	0.18	-0.26	-0.01	0.10	0.04	-0.34	0.73
Abertura puertas	0.61	0.79	0.14	1.00	0.22	-0.52	0.64	-0.48	-0.06	0.30	0.14
Altura puertas fondo	-0.11	0.09	0.18	0.22	1.00	-0.44	0.47	-0.33	-0.24	0.37	0.36
Altura red	-0.25	-0.64	-0.26	-0.52	-0.44	1.00	-0.34	0.28	-0.10	-0.11	-0.19
Velocidad	0.20	0.55	-0.01	0.64	0.47	-0.34	1.00	-0.68	-0.25	0.61	0.27
Rumbo	-0.17	-0.45	0.10	-0.48	-0.33	0.28	-0.68	1.00	-0.04	-0.88	0.18
Proyección viento	-0.06	0.09	0.04	-0.06	-0.24	-0.10	-0.25	-0.04	1.00	-0.01	-0.09
Proyección mar	0.08	0.13	-0.34	0.30	0.37	-0.11	0.61	-0.88	-0.01	1.00	-0.28
Consumo	0.05	0.21	0.73	0.14	0.36	-0.19	0.27	0.18	-0.09	-0.28	1.00

Figura 8. Coeficientes de correlación de Pearson entre parámetros para los lances con puertas semipelágicas.

Puertas de Fondo	Diferencia Fondo	Cable	R.P.M	Abertura puertas	Altura puertas fondo	Altura Red	Velocidad	Rumbo	Proyección viento	Proyección mar	Consumo
Diferencia Fondo	1.00	0.25	0.35	0.37	-	-0.10	0.42	-0.32	-0.29	0.23	0.32
Cable	0.25	1.00	-0.21	0.66	-	0.57	0.21	-0.55	-0.58	0.22	0.04
R.P.M	0.35	-0.21	1.00	-0.01	-	0.26	-0.29	0.33	-0.22	-0.21	0.86
Abertura puertas	0.37	0.66	-0.01	1.00	-	0.54	-0.09	-0.13	-0.32	-0.14	0.03
Altura puertas fondo	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-
Altura red	-0.10	0.57	0.26	0.54	-	1.00	-0.37	-0.20	-0.42	0.08	0.37
Velocidad	0.42	0.21	-0.29	-0.09	-	-0.37	1.00	-0.31	-0.07	0.14	-0.03
Rumbo	-0.32	-0.55	0.33	-0.13	-	-0.20	-0.31	1.00	0.14	-0.89	0.20
Proyección viento	-0.29	-0.58	-0.22	-0.32	-	-0.42	-0.07	0.14	1.00	0.15	-0.44
Proyección mar	0.23	0.22	-0.21	-0.14	-	0.08	0.14	-0.89	0.15	1.00	-0.24
Consumo	0.32	0.04	0.86	0.03	-	0.37	-0.03	0.20	-0.44	-0.24	1.00

Figura 9. Coeficientes de correlación de Pearson entre parámetros para los lances con puertas de fondo.

Diferencia de fondo: La diferencia de fondo mostró una correlación media con respecto a la apertura de puertas con las puertas semipelágicas (0.61). Sin embargo, no se observa ninguna relación directa entre ambos parámetros.

Cable: La longitud del cable mostró una correlación media con respecto a la apertura de puertas con ambas puertas (0.79 para SP y 0.66 para fondo), lo que parece lógico,

ya que, para una mayor cantidad de cable largado, la abertura de puertas tiende a ser mayor. Además, dada su configuración, las puertas semipelágicas presentaron aberturas más grandes con cantidades menores de cables largados, con respecto a las puertas de fondo.

RPM: La velocidad de giro del motor principal está directamente relacionada con el consumo de combustible del motor. De hecho, el consumo guarda una relación lineal con la potencia entregada por el motor, que es el producto entre su velocidad de giro y el par entregado. Por ello, en los lances con ambas puertas, la velocidad de giro mostró una correlación alta con el consumo.

Abertura puertas: Su correlación con el cable ya se ha mencionado. Con respecto al resto de variables, no mostró ninguna correlación alta. Sin embargo, tras observar la base de datos, se concluyó que para una misma cantidad de cable, las puertas semipelágicas mostraron aberturas superiores a las de fondo.

Altura puertas de fondo: No mostraron ninguna correlación significativa con el resto de variables en las pruebas realizadas. En el caso de las puertas de fondo, esta altura fue nula para todos los lances.

Altura de la red: Pese a que pudiera haber mostrado coeficientes de correlación medios/altos con otros parámetros, la altura de la red no varió significativamente entre los distintos lances, por lo que no se puede apreciar una dependencia con respecto a otras variables, al menos en la base de datos utilizada.

Velocidad: De forma similar a la altura de red, la velocidad se mantuvo entre 2.8 y 3 nudos para todos los lances, por lo que no se observó ninguna correlación con ningún otro parámetro. En caso de variar en un rango mayor, este parámetro debería tener un impacto directo en el consumo de combustible.

Rumbo: El rumbo mostró una correlación negativa con respecto a la proyección del mar ya que el oleaje provino en su mayoría del noroeste (300-340°). En el caso de los rumbos hacia el norte, el buque tuvo el mar en contra, mostrando esta correlación negativa. Sin embargo, no se encontró una alta correlación entre rumbo y consumo.

Proyección viento: De forma general, la proyección del viento no presentó correlaciones significativas con respecto a otros parámetros. En el caso de las puertas de fondo, se observó una correlación negativa con respecto al cable, que a priori no corresponde a una posible relación causa/efecto entre ambas. Además, en el caso de las puertas de fondo, la segunda variable más correlacionada fue el consumo de combustible, con una correlación negativa (-0,44). Esto pudiera indicar un posible efecto del viento en el consumo (viento más desfavorable con una proyección más negativa supondría un consumo más elevado). Sin embargo, este es un coeficiente relativamente bajo como para establecer dicha relación.

Consumo: Además de la velocidad de giro del motor, no se vio ninguna relación con correlaciones altas entre el resto de variables y el consumo. De los coeficientes de correlación observados, se puede observar que ninguna de las variables (fuera de la velocidad de giro del motor principal) tuvo una correlación alta con el consumo. Si bien se pretende comparar el consumo entre las distintas puertas, aparentemente el resto de factores externos no tuvieron un impacto directo en el consumo durante los distintos lances.

4.4. Dispositivo selectivo y configuraciones

El STECF en su informe de la 78ª plenaria 25-01 observa que el Grupo de Trabajo sobre Evolución (GTE) revisó las estimaciones de selectividad de las artes de pesca para la merluza y otras especies clave capturadas en las pesquerías mixtas del Golfo de Vizcaya y el Mediterráneo. El GTE concluyó que las configuraciones de malla T45 o T90 en las pesquerías de arrastre de especies mixtas del Golfo de Vizcaya ofrecen el mayor potencial para mejorar la selectividad de la merluza, y que la mortalidad posterior al escape debe tenerse en cuenta al evaluar la eficacia de las medidas técnicas para alcanzar los objetivos de gestión.

Esta ha sido una información clave para determinar las configuraciones experimentales a probar en 2025. Se han probado copos T90, T45 y T0, comparados mediante el método de copos paralelos (trouser trawl) frente a un copo control, utilizando una pieza de división unida a la red y que servía para obtener dos salidas de menor diámetro a las que se le conectaban los copos experimentales.

4.4.1. Pieza de división

Esta ha sido la pieza clave del experimento, ya que es la que ha permitido dividir en dos la circunferencia del copo. La pieza original se diseñó en el proyecto de 2024, pero este 2025 se ha rediseñado, con hilos más blandos y más finos, lo que le proporciona una mayor adaptabilidad al flujo de agua, adquiriendo una forma más “armada” (mejor forma). Como consecuencia de esta división se han podido obtener dos salidas circulares de diámetro más pequeño. A estas salidas circulares se les han acoplado los copos T45, T90, T0 y control que se han fabricado en un diámetro más pequeño que el habitual, adecuado a esta circunferencia.

La pieza de división se ha fabricado en la redería de Naberan, que cuenta con una amplia experiencia en la elaboración, no solo de redes comerciales, sino también en dispositivos selectivos para pruebas experimentales en redes de arrastre. La fabricación se ha llevado a cabo, en colaboración con el maestro redero, que ha adaptado la idea inicial (Figura 10), en un producto adecuado para trabajar en condiciones reales en la mar.

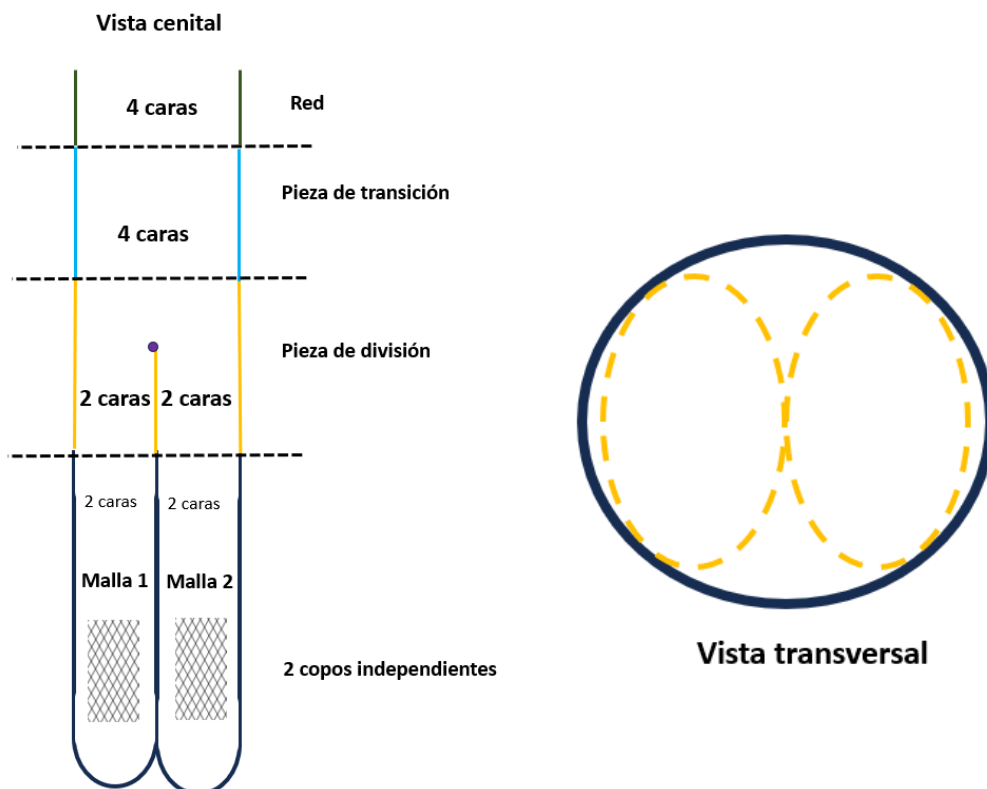


Figura 10. A la izquierda, esquema de la pieza de división que se une a la red de 4 caras y que termina en dos salidas de circunferencia inferior de dos caras, a la que se unen los copos experimentales. A la derecha vista transversal de la pieza de división.

La pieza de división está unida en su parte delantera a la parte final de la red GOC73 de cuatro caras, y sirve de transición para unir los copos experimentales de diámetro inferior. En esta transición, se ha pasado de las cuatro caras a dos, y seguidamente se han unido los costadillos entre sí, para obtener dos circunferencias más pequeñas, situadas horizontalmente una al lado de la otra. A estas salidas, se les ha cosido unas mallas de nylon, para poder acoplar y desacoplar los copos experimentales y poder así alternarlos entre lances y conseguir diferentes configuraciones. Una imagen de esta pieza trabajando en el agua se puede ver en la Figura 11.

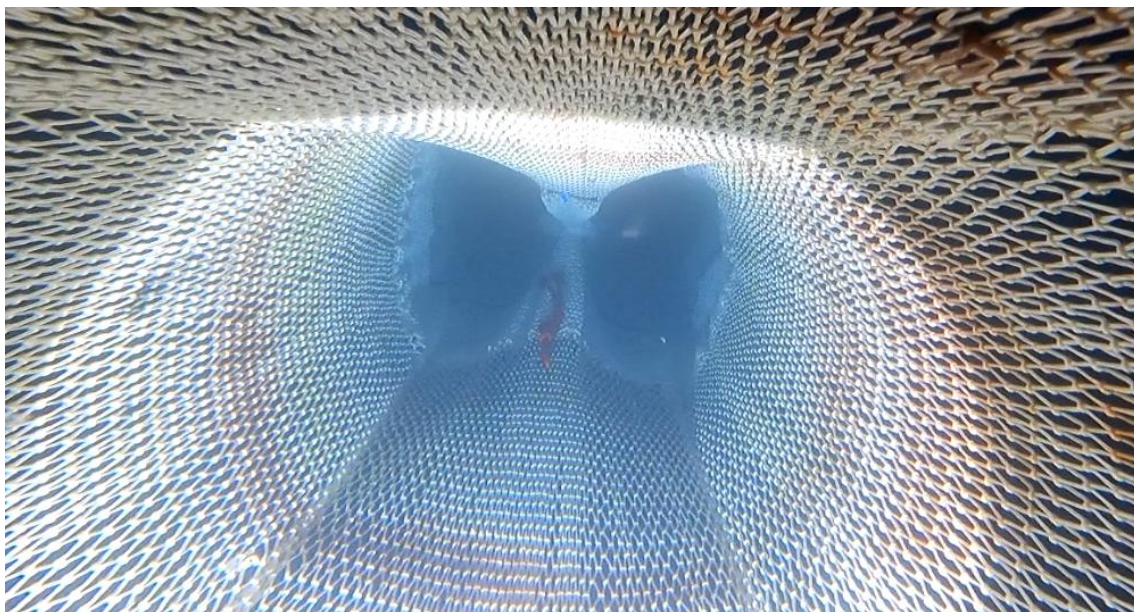


Figura 11. Imagen subacuática de la pieza de división, tomada de la parte superior de la red y enfocando hacia los copos.

4.4.2. Copos experimentales

Copo control

Antes de realizar las pruebas de mar, se llevó a cabo un procedimiento para la elección de la luz de malla del copo control. En años anteriores se utilizó una luz de malla de 26 mm, con la que se capturaban individuos de talla muy pequeña. En las pruebas de 2022 (Basterretxea et al. 2022) se planteó la posibilidad de aumentar la luz de malla, tanto para optimizar el esfuerzo de trabajo de muestreo a bordo, como para tener un menor impacto en la población de individuos capturados. Sin embargo, un aumento indiscriminado del tamaño de malla del copo control podría implicar la pérdida de individuos con tallas de interés para el estudio en cuestión, lo que además conllevaría una estimación errónea de la selectividad de la red experimental.

Por ese motivo, la elección del aumento de malla se llevó a cabo en base a simulaciones de selectividad para una serie de tamaños de malla. Para ello, se utilizó el software FISHSELECT, una herramienta de simulación que permite determinar si un pez puede penetrar una malla específica comparando la morfología del pez y la geometría de la malla en cuestión. El objetivo fue seleccionar la malla más adecuada de copo control, seleccionando la mayor luz de malla posible, sin afectar en la captura de individuos de talla más pequeña necesarios para obtener curvas de selectividad estadísticamente rigurosas. Las simulaciones se pueden observar en la Figura 12.

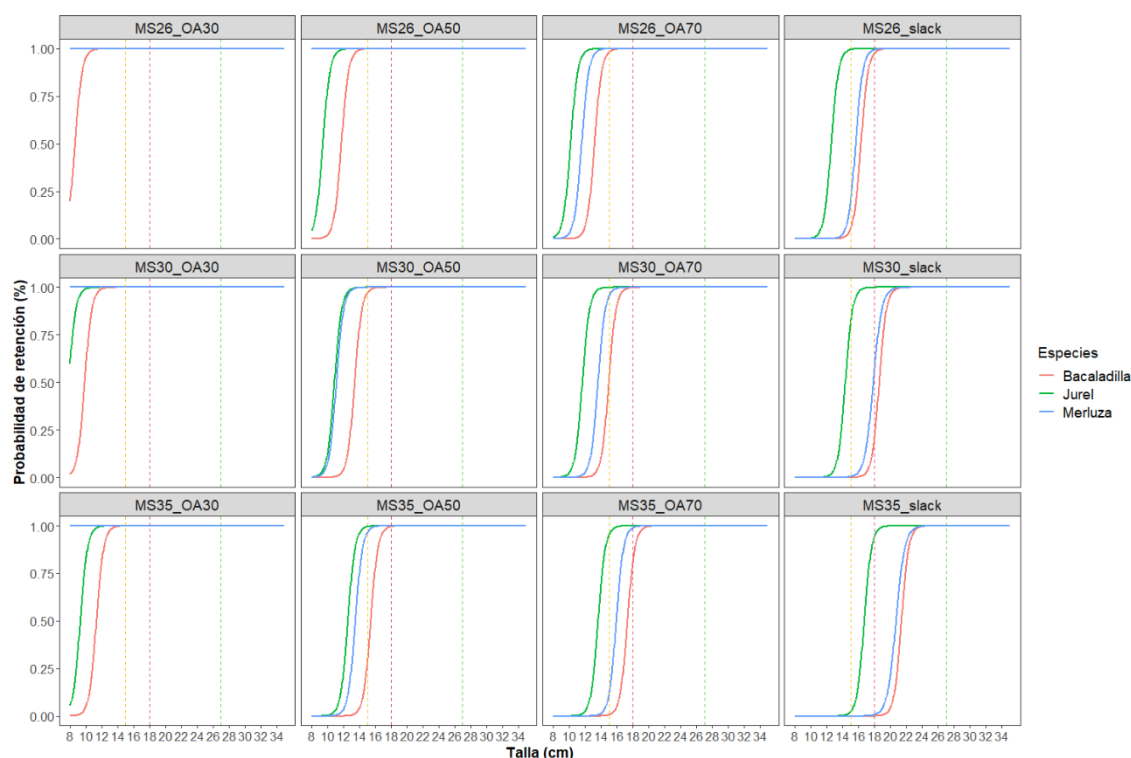


Figura 12. Simulaciones realizadas para las diferentes luces de malla del copo control. MS indica el tamaño de malla (mm) para el cual se ha realizado la simulación y OA el ángulo de apertura de dicha malla. Slack hace referencia a una malla sin tensión y se asumen que toma la forma de la sección transversal del pez que la intenta atravesar. Las líneas verticales corresponden a los TMRC de cada especie: bacaladilla 18 cm (rojo), jurel 15 cm (verde) y merluza 27 cm (azul).

Los resultados muestran que una luz de malla de 30 mm con una apertura amplia (70°) retendría un 100% de los individuos con tallas correspondientes a sus TMRC, e

individuos de menor talla también. Retener individuos de dichas tallas (y tallas por debajo) en el copo control es imprescindible ya que nos interesa ser capaces de estimar la selectividad de la red para dichos individuos (ya que la retención de individuos por debajo de esa talla en el copo implicaría retener individuos con TAC y cuota no deseados que han de ser desembarcados y computados contra cuota). Los resultados de las simulaciones muestran que una luz malla de 26 mm sería más conservadora que la de 30 mm a la hora de retener individuos pequeños de interés, sin embargo, se capturarían también individuos de tallas irrelevantes para la estimación de la selectividad (demasiado pequeños). Puesto que una luz de malla de 35 mm no retiene el 100% individuos de jurel y bacaladilla correspondientes a sus TMRC respectivas, la luz de malla escogida para las pruebas experimentales fue de 30 mm. Una imagen del copo control en la cubierta del barco se puede observar en la Figura 7.



Figura 13. Copo control extendido en la cubierta del barco.

Por tanto, el copo control se elaboró a partir de un paño de red con una luz de malla nominal de 30mm, pero que en las mediciones realizadas previas a la campaña dieron

como resultado una luz de 36mm. Se confeccionaron con hilo simple de poliamida blanca de 1,3mm de grosor. Elaborado en dos paneles, alto y bajo, ambos con 68 mallas de ancho y 145 de largo, con una longitud de unos 5,4m.

Copo T0

Este copo sería el equivalente a un copo comercial utilizado en la pesquería de arrastre de fondo a la baka en la zona ICES 8abd, que tendría una luz de malla mínima de 70mm. En años anteriores se han elaborado los copos partir del mismo paño que utilizan los barcos comerciales y que suele proporcionar la empresa redera NABERAN. Este año, sin embargo, se ha decidido utilizar un paño diferente para la elaboración de los copos T0 y T90. La razón ha sido que las características de la red, el barco y los lances no son las mismas en la pesquería comercial y en la presente campaña científica. La red de los barcos comerciales es mucho mayor que la red GOC utilizada en la campaña, por lo que las fuerzas que actúan en el copo (flujo de agua, apertura de puertas, etc.) son mucho mayores en la pesquería comercial. El barco comerciales mas grande y mas potente, lo que permite arrastrar una red mayor a una velocidad mayor. Finalmente, los lances son de mucha mayor duración en los lances comerciales, llegando a durar mas de tres horas lo que, añadido a lo antes mencionado, hacen que las cantidades de pescado capturadas sean mucho mayores.

Todas estas diferencias entre lances en pesquería comercial y campaña científica han hecho replantearnos la confección del copo y su material. En años anteriores (Basterretxea et al. 2023) se ha utilizado un paño de hilo doble confeccionado con PE de alta tenacidad, lo que proporcionaba una dureza y rigidez muy grande, lo que sugería una desproporción entre las fuerzas necesarias para que el copo trabajara bien (abertura de copo y mallas) adquiriendo su forma bien armada, y las fuerzas que el barco con la red GOC puede proporcionar al copo, es decir, un flujo limitado de agua y poca cantidad de pescado, que serían necesarios para que el copo adquiriera su forma y trabajara adecuadamente.

Debido a esto, se ha optado por utilizar hilo sencillo en vez de doble y con un material menos rígido, lo que ha servido para que las características del copo sean

proporcionales con las del barco. Una imagen del copo T0 se puede ver en la Figura 8, junto con el copo T90.

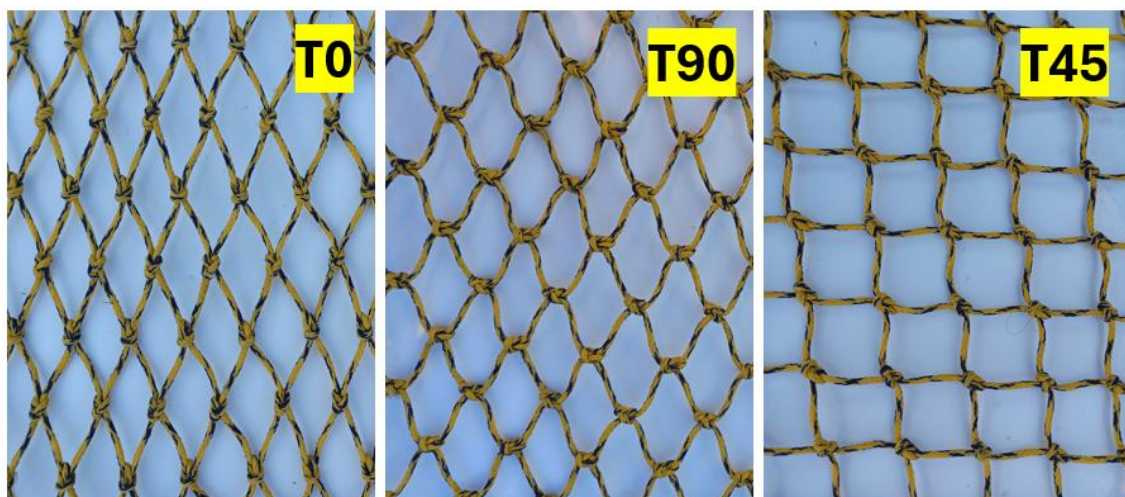


Figura 8. Detalle de los copos experimentales. T0 a la izquierda, T90 centro y T45 derecha.

El copo T0 se elaboró a partir de un paño de red con una luz de malla nominal de 50mm, pero que en las mediciones realizadas previas a la campaña dieron como resultado una luz de 58,8mm. Se confeccionó con hilo simple de polietileno de alta tenacidad amarillo de 2mm de grosor. Elaborado en dos paneles, alto y bajo, ambos con 45 mallas de ancho y 100 de largo, con una longitud de unos 5,9m y un diámetro aproximado de 0,55m.

Copo T45

Siguiendo el razonamiento del copo anterior, el T45 se ha elaborado con el mismo material que el T0. La configuración T45 consiste en “girar” 45° el paño de red del copo con respecto a su sentido N a la hora de montarlo en los costadillos laterales del copo, con lo que se consigue una malla con su mayor apertura (teórica) posible, conocida como malla cuadrada.

En la práctica, una vez montado el paño en esta configuración, la rigidez del material del paño y la orientación de los nudos, hacen que esta tienda a volver a su forma original. Esta tendencia es mayor cuanto mas grueso es el hilo, y también aumenta cuando esta montado en doble hilo. Sin embargo, como este año se ha utilizado hilo simple de 2mm de grosor, esta tendencia a volver a su forma habitual se ha reducido. Además, los primeros días de campaña se tensó el copo, atándolo por sus extremos en la cubierta del barco (Figura 8) para darle la forma deseada (malla cuadrada o T45).

Copo T90

Elaborado en el mismo material que los copos anteriores, la configuración T90 consiste en “girar” 90° el paño de red del copo con respecto a su sentido N a la hora de montarlo en los costadillos laterales del copo, con lo que se consigue una significativa mayor apertura de la malla y, previsiblemente, un mayor escape de especies con una sección transversal de forma redonda (Figura 8).

El copo T90 se elaboró a partir de un paño de red con una luz de malla nominal de 50mm, pero que en las mediciones realizadas previas a la campaña dieron como resultado una luz de 56,3mm. Se confeccionó con hilo simple de polietileno de alta tenacidad amarillo de 2mm de grosor. Elaborado en dos paneles, alto y bajo, ambos con 45 mallas de ancho y 100 de largo, con una longitud de unos 5m y un diámetro aproximado de 0,55m.

4.4.3. Configuraciones

Siguiendo el planteamiento del año anterior, la utilización de dos copos permite hacer la comparativa entre ambos, lo que nos ha permitido prescindir del sobrecopo. En pruebas de años anteriores se observó que el sobrecopo afecta de forma significativa al “armado” o despliegue de los copos interiores, condicionando su correcto funcionamiento y, por

tanto, modificando lo que sería el escape en condiciones de pesca comercial que se realizan sin sobrecono.

Con este planteamiento de comparativa de copos y trabajando sin sobrecono, se plantearon una serie de configuraciones. Siempre comparando un copo experimental y uno control, cada uno a un lado. Además, se han realizado el mismo número de lances por experimento con cada tipo de puerta. Para eliminar cualquier sesgo de posición de los copos, por cada configuración se han cambiado de lado el copo control con el experimental, en todas sus combinaciones posibles.

Estas fueron las 3 configuraciones experimentales:

- 1- **Control_T0**
- 2- **Control_T45**
- 3- **Control_T90**

4.5. Imágenes submarinas

Una parte importante de las pruebas ha sido la visualización *in situ* del funcionamiento de los dispositivos debajo del agua. Los videos e imágenes submarinas son parte importante de las pruebas, ya que permiten confirmar que los dispositivos están funcionando correctamente, así como hacerse una idea del efecto de las modificaciones en condiciones de trabajo. Con este fin, se ha utilizado una cámara GoPro Hero 4, una GoPro Hero 9 (<https://es.gopro.com/>), una cámara Paralenz Vaquita y una cámara LH (<https://lh-camera.dk/>) para registrar imágenes tanto de la red, como del comportamiento de los peces en su interior. Las imágenes se han visualizado inmediatamente después del muestreo del lance y las cámaras se recolocaban de un lance a otro en una nueva posición en el dispositivo, lo que ha proporcionado una visión global del funcionamiento de las modificaciones y dispositivos durante las pescas.

Este año, la utilidad principal que se ha dado a las imágenes ha sido la de confirmar que el dispositivo tenía un funcionamiento correcto, sobre todo en la pieza de división, que ha sido la clave del experimento.

Frame o carcasa protectora

Este año, además, se ha diseñado un soporte en impresión 3d para colocar tanto cámaras como luces y asociarlas a la red (Figura 14). Este consiste en una estructura que permite colocar, por un lado, la cámara y, por otro, el foco de luz. Los objetivos son dos; 1) facilitar la colocación de los equipos en la red, 2) proteger los equipos de posibles golpes.

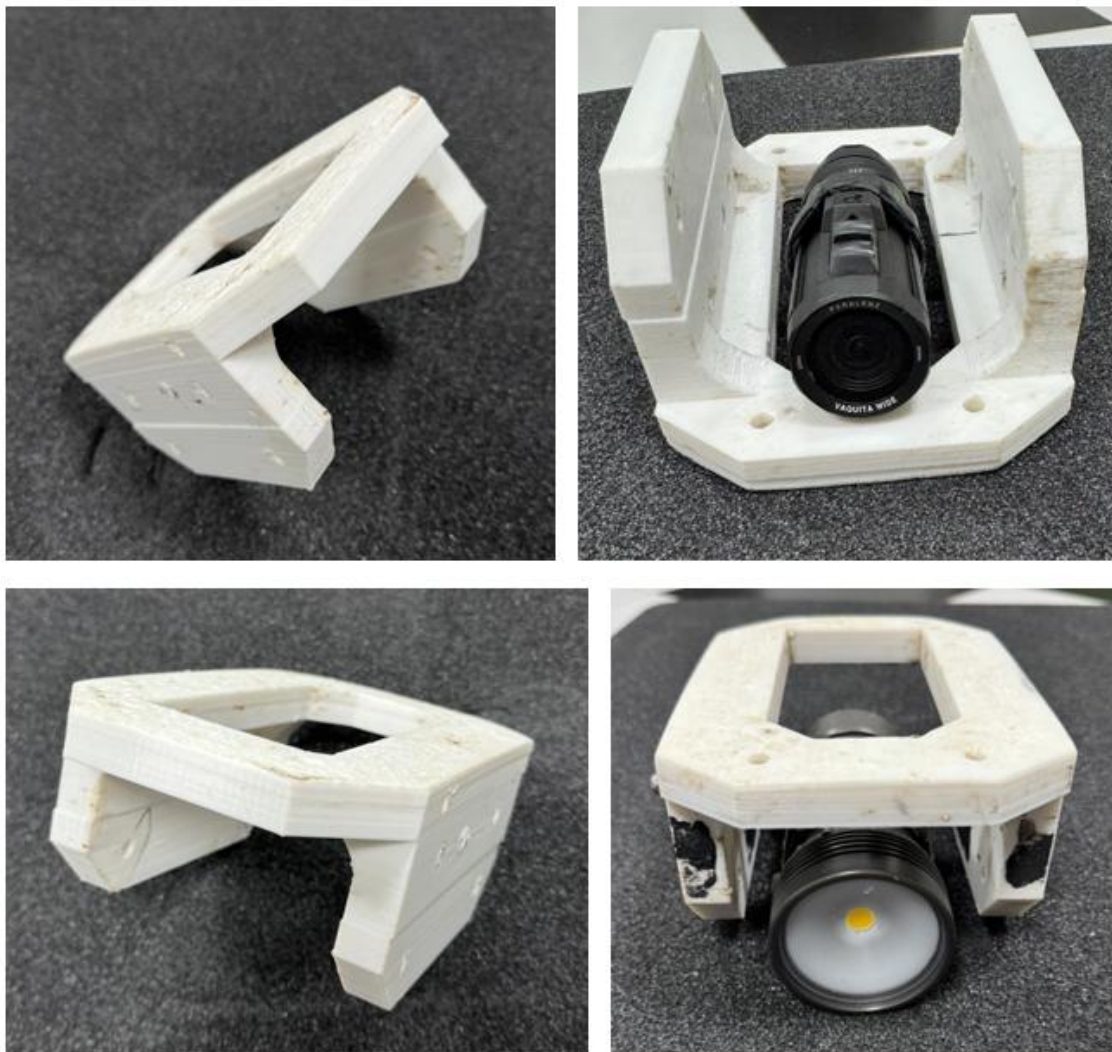


Figura 14. Carcasa (frame) diseñada para colocar la cámara y el foco.

4.6. Análisis estadístico de los datos

4.6.1.1. Comparativa de captura entre puertas

El análisis estadístico correspondiente a la comparativa entre puertas se ha llevado a cabo utilizando los datos recogidos en los lances de tipo control con el objetivo de identificar posibles diferencias entre las capturas totales resultantes de los lances con puertas de fondo y los lances con puertas pelágicas.

Para ello: **(1)** se ha calculado el número total de individuos y peso total por especie y por lance como la suma de los valores recogidos para cada talla. También se ha calculado el número total de individuos y peso total de cada lance, sumando los valores calculados para cada especie. A partir de estos datos se han calculado la proporción de individuos y la proporción en peso de cada especie por lance. **(2)** Adicionalmente se ha analizado si la distribución de tallas de las capturas con una y otra puerta de arrastre para las especies mejor representadas tenían diferencias estadísticamente significativas.

(1) En primer lugar, se ha realizado un análisis descriptivo de estos datos mediante gráficos de barras, gráficos de sectores y diagramas de cajas distinguiendo dos grupos: lances con puertas de fondo y lances con puertas pelágicas.

En segundo lugar, se han ajustado dos modelos de regresión para cada especie con el objetivo de estimar el número medio de individuos por lance y la proporción o porcentaje medio en peso por lance según el tipo de puerta utilizado, con sus respectivos intervalos de confianza y p-valor asociado a la variable tipo de puerta. Con un nivel de significación del 5% se ha considerado que un p-valor asociado a la variable tipo de puerta en el modelo de regresión menor a 0.05 indica que hay diferencias estadísticamente significativas entre los dos tipos de puertas.

El modelo de regresión para estimar el número de individuos de una especie esperado por lance según el tipo de puerta ha sido el siguiente:

$$y_i \sim \text{Poisson}(\mu_i)$$

$$\mu_i = \alpha_0 + \alpha_1 \text{TIPO_PUERTA}_i,$$

donde y_i es el número total de individuos de cada especie en cada lance i y μ_i es el valor esperado de y_i .

El modelo de regresión para estimar la proporción en peso de una especie esperado por lance según el tipo de puerta ha sido el siguiente:

$$p_i \sim \text{quasibinomial}(\mu_i, \phi)$$

$$\text{logit}(\mu_i) = \alpha_0 + \alpha_1 \text{TIPO_PUERTA}_i,$$

donde p_i es la proporción en peso de cada especie en cada lance i , μ_i es el valor esperado de p_i y ϕ es el parámetro de dispersión.

(2) Se calcula el porcentaje de captura retenida por especie y talla y se calcularon los intervalos de confianza del 95 % de Efron para las poblaciones medias retenidas mediante un método de doble bootstrap. Además, se calcularon las curvas delta de población retenida para mostrar la diferencia en el patrón de capturas por talla retenido entre las puertas semipelágicas y las de fondo. Para inferir esta diferencia se aplicó la siguiente curva delta genérica ($\Delta r(l)$):

$$\Delta r(l) = r_{\text{pelágicas}}(l) - r_{\text{fondo}}(l)$$

Los IC del 95 % de Efron para $\Delta r(l)$ se obtuvieron a partir de dos poblaciones bootstrap (1.000 repeticiones cada una) para $r_{\text{pelágicas}}(l)$ y $r_{\text{fondo}}(l)$. Como el remuestreo fue aleatorio e independiente en ambos grupos, es válido generar la población bootstrap para la diferencia usando la ecuación (7) y los dos archivos generados (Cuende et al., 2022).

4.6.1.2. Selectividad de los copos T0, T45 y T90

Se analizó la selectividad por tallas para los copos T0, T45 y T90 usando el método de lances apareados (Wileman et al., 1996). Los datos del compartimento test (T0, T45 o

T90) y del control se tomaron simultáneamente, asumiendo que ambos pescaban la misma población. La selectividad media se estimó minimizando la expresión:

$$-\sum_l \sum_{i=1}^m \left\{ \frac{nT_{li}}{qT_i} \times \ln(\varphi(l, SP, \mathbf{v})) + \frac{nC_{li}}{qC_i} \times \ln(1.0 - \varphi(l, SP, \mathbf{v})) \right\} \quad (S1.E1)$$

with

$$\varphi(l, SP, \mathbf{v}) = \frac{SP \times r(l, \mathbf{v})}{SP \times r(l, \mathbf{v}) + 1 - SP}$$

- $\varphi(l, SP, \mathbf{v})$ es la tasa de reparto de captura que modela la proporción dependiente de la talla de la captura total (en test + control) recogida en el test
- nT_{li} y nC_{li} número de individuos por talla en test y control
- qT_i y qC_i fracción muestreada en cada lance
- m representa el número total de lances para cada configuración del copo
- SP es el parámetro de reparto que cuantifica el reparto de la captura total en la entrada entre el test y el control
- $\mathbf{v}$ es un vector de los parámetros en el modelo de selectividad por tallas $r(l, \mathbf{v})$

Se esperaba que $SP \approx 0,5$, dado que las aperturas de test y control eran iguales. Minimizar la expresión (S1.E1) respecto a $\mathbf{v}$ y SP equivale a maximizar la verosimilitud para datos binomiales, buscando los valores que hacen más probables los datos observados.

Se evaluaron cuatro modelos para $r(l, \mathbf{v})$: Logit, Probit, Gompertz y Richards. Logit, Probit, Gompertz vienen definidos por los parámetros L50 (longitud con 50% de retención) y SR (diferencia entre longitudes con 75% y 25% de retención). Richards: añade $1/\delta$, que describe la asimetría de la curva. Las fórmulas para los cuatro modelos de selectividad, junto con información adicional, pueden encontrarse en Wileman et al. (1996). Todos los modelos asumen que los individuos que entran en el test contactan las mallas y tienen una probabilidad dependiente de la talla de escapar.

La capacidad del modelo para describir los datos se evalúa mediante el p-valor, que indica la probabilidad de que la discrepancia entre el modelo y los datos ocurra por azar. Por tanto, para que el modelo ajustado sea candidato para modelar los datos de selectividad, este valor p no debe ser $<0,05$ (Wileman et al., 1996). En casos de un p valor $<0,05$, se inspeccionaron los residuos para determinar si el resultado se debía a un problema estructural en las curvas de selectividad o por sobredispersión (Wileman et al., 1996).

La elección del mejor modelo se basó en el AIC, seleccionando el de menor valor (Akaike, 1974). Una vez identificado el modelo específico para una especie y configuración, se aplicó bootstrapping para estimar los intervalos de confianza para la selectividad media por tallas. Se usó un doble bootstrap (Millar, 1993; Herrmann et al., 2012) para obtener los límites de confianza para la curva de selectividad y los parámetros correspondientes, que considera la variación entre y dentro de los lances (Fryer, 1991). Este proceso incluyó un Bootstrap externo con reemplazo de los lances y bootstrap interno con reemplazo para tener en cuenta la variación dentro del lance. Cada repetición genera un conjunto de datos agrupados, analizados con el modelo seleccionado, produciendo una curva de selectividad media. Se realizaron 1000 repeticiones para obtener ICs percentil 95% (Efron, 1982).

4.7. La campaña

La campaña se desarrolló entre 3 y el 15 de junio, con una duración de 13 días, uno de los cuales se utilizó para descanso de la tripulación y cambio de puertas, por lo que fueron 12 días efectivos para las pruebas de mar.

Debido a las buenas condiciones meteorológicas y a la ausencia de incidentes importantes, se desarrolló según lo planificado. Se realizaron un total de 38 lances, 2 de ellos nulos, por lo que se obtuvieron 36 lances válidos para el estudio.

La zona de pesca abarcó la división ICES 8b en aguas de jurisdicción francesa prácticamente en toda su totalidad. Únicamente se realizaron 2 lances en aguas Españolas, uno de ellos llegando a arrastrar un pequeño tramo en la división 8c. Con

The map shows the coastline of the Gulf of Mexico, with the study site (8b) located in the northern part of the Gulf. The study site (8c) is located in the southern part of the Gulf. The map includes a legend for T0 (white), T90 (red), and T45 (green) and a scale bar.

5. UTILIZACIÓN DEL PRESUPUESTO ASIGNADO

El gasto del proyecto se ha dedicado en gran parte a realizar tareas desarrolladas por el equipo de AZTI; revisión del estado del arte, reuniones, diseño experimental, campaña, análisis y elaboración de resultados y el informe y las presentaciones.

Sin embargo, una parte del proyecto se ha dedicado a compras, viajes, subcontrataciones y otros servicios auxiliares.

En el apartado de compras, el mayor gasto ha sido el de las puertas semipelágicas y sus componentes (pies de gallo, cajetines para los sensores), que han costado 11.750€. En ferretería se han gastado 39€ para comprar material de campaña. Este año se han diseñado y confeccionado unas carcasas protectoras para los equipos de grabación, que se han realizado en la impresora 3D de AZTI. Para la confección de las carcasas se ha comprado materiales (filamento, boquilla, imán) por un importe de 103€. Los gastos de subcontratación serían 2.200€, en los que se incluye la fabricación de los copos experimentales, que los realiza la empresa Naberan, subcontratada por Azti para este tipo de trabajo. Los gastos de viaje fueron 565€, para todos los gastos de viajes de casa a puerto para los embarques del personal, así como los viajes previos a la campaña realizados a NABERAN para gestionar el diseño y fabricación del dispositivo selectivo. En este gasto de viaje también se incluye gasto de supermercado del personal que embarca, que se utiliza para compra de alimentos particulares que no están incluidos en la dieta del barco (refrescos, cereales, dulces, etc.). Finalmente, otros servicios auxiliares fueron para el alquiler y envío de los sensores para las puertas (750€) y la contratación de un camión grúa para transportar las redes y puertas de la campaña (595€).

6. RESULTADOS

La visualización de las imágenes submarinas a bordo han sido los primeros resultados obtenidos. En ellas hemos podido comprobar el funcionamiento de los dispositivos y comprobar que estos han trabajado de forma correcta. Esto permite verificar que los resultados obtenidos tras el análisis de tallas de la captura sean debidos a las modificaciones experimentales, y no a un funcionamiento incorrecto de los mismos. Gracias a la visualización *in situ* de las imágenes submarinas, se han podido corregir errores, así como discriminar lances en los que el funcionamiento de la red o el copo no hayan sido correctos. Una vez seleccionados los lances válidos y de haber realizado el muestreo, se ha llevado a cabo el análisis estadístico de los mismos.

Este año, como ya hemos comentado, además del estudio de selectividad, se ha realizado la comparativa de las puertas semipelágicas frente a las de fondo tradicionales. Por lo tanto, el estudio ha abarcado los siguientes análisis:

- 1- Comparativa entre puertas: Consumo, impacto y captura.
- 2- Análisis de la captura: Selectividad de cada copo y comparativa entre copos.

6.1.Comparativa entre puertas

La colocación y el cambio de puertas son maniobras que requieren de la utilización de una grúa y hay que hacerlas en puerto. Debido a este motivo, se empezó la campaña con las puertas semipelágicas para garantizar su utilización y se aprovechó la entrada al puerto del buque a mitad de campaña para hacer el cambio y colocar las clásicas de fondo.

Durante las pruebas con las puertas semipelágicas se detectaron varios aspectos técnicos relevantes. Inicialmente se observó un montaje incorrecto en una de las puertas, lo que afectó su posición y funcionamiento. También se identificaron valores anómalos de Pitch y Roll en los sensores, especialmente en la puerta de estribor, lo que podría estar relacionado con problemas en el tiro de la mallela. La calibración de los sensores mejoró al introducir manualmente los ángulos de la cajetilla, lo que permitió una lectura más realista. Se destacó la importancia de considerar la altura del sensor respecto al patín para interpretar correctamente la información de la sonda. En cuanto a la operación, se estableció que la longitud de cable debe ser ligeramente inferior a tres veces la profundidad, y que es necesario virar una vez que la red hace firme para evitar que las puertas toquen fondo.

Estos contratiempos y sus correspondientes ajustes se fueron corrigiendo a medida que avanzaba la campaña. Los lances en los cuales las puertas no trabajaron según lo esperado no fueron considerados para la comparativa de consumo entre puertas. Sin embargo, consideramos que estos imprevistos no afectan a la selectividad de los copos, por lo que fueron considerados válidos en ese sentido.

Entre los parámetros que pueden condicionar el funcionamiento de las puertas tenemos; por un lado, las condiciones meteorológicas (altura y fuerza del mar, dirección y velocidad del viento), y por otro, variables dependientes del barco como la velocidad del buque, rumbo, profundidad de pesca, cable arriado, características de la red, cantidad de captura y duración del lance, entre otras.

En los últimos días de la campaña, se decidió cambiar el tiro del cable al agujero más atrasado del braket en las puertas de fondo, con el objetivo de aumentar la abertura. Este cambio permitió pasar de unos 90 metros de abertura a 110, aunque no se logró alcanzar los 120-130 metros que se obtenían con las semipelágicas. Por ello, se planteó entrar a puerto el sábado para cambiar nuevamente las puertas y ajustar el tiro, con la esperanza de reducir la abertura de las SP y así igualarla a la de las de fondo. Dado que solo quedaban dos lances antes de finalizar la campaña, no había margen para más cambios, por lo que se decidió apostar por esta única modificación. A pesar de las limitaciones, se consideró que los datos obtenidos eran suficientes para extraer

conclusiones interesantes, y se dejó abierta la posibilidad de continuar con las pruebas el próximo año, aplicando lo aprendido en esta campaña.

6.1.1. Impacto

La forma en la que se analizó el impacto de las puertas sobre el fondo fue mediante la visualización de la información de los sensores, que indican en todo momento la posición en la que la puerta avanza respecto al fondo (Figura 16. Información proporcionada por los sensores de las puertas.).

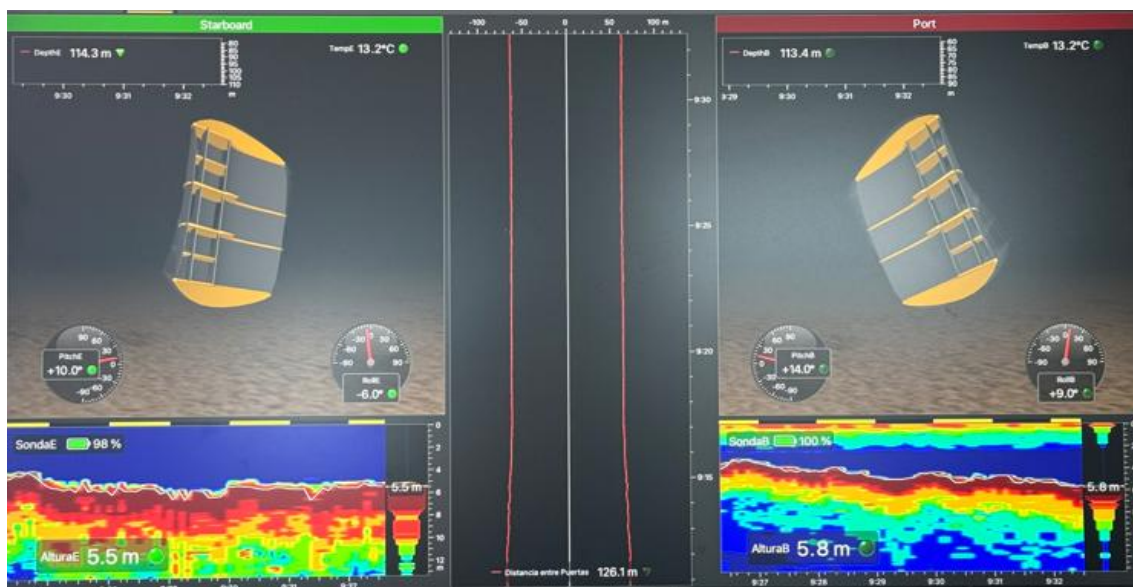


Figura 16. Información proporcionada por los sensores de las puertas.

Normalmente, durante el arrastre, el barco mantiene una velocidad constante y, a no ser que se trabaje sobre un terreno irregular con altibajos, la puerta suele “volar” de manera estable sobre el fondo marino. Sin embargo, en ciertos momentos puntuales, esta velocidad puede disminuir, ya sea porque la velocidad baja (maniobra de largado y

virado) o porque el terreno tenga altibajos, por lo que la puerta puede perder estabilidad y caer a fondo.

Si bien en arrastre la estabilidad de la puerta es muy buena, al inicio del lance hay que estar pendiente de cómo se van estabilizando algunos valores clave. Estos son la distancia a la que la puerta se va acercando al fondo, parámetros de la red (apertura de la boca, posición del burlón respecto al fondo), velocidad, distancia horizontal entre puertas, el cabeceo (Pitch) y balanceo (Roll). Otro aspecto muy a tener en cuenta son los parámetros meteorológicos, dirección y fuerza de oleaje y el viento, así como la corriente existente en cada momento. Todo ello determina el funcionamiento de las puertas, por lo que hay que tenerlos en cuenta, sobre todo al inicio del lance hasta que se estabiliza el avance de las puertas.

Teniendo esto en cuenta, aunque existen momentos muy puntuales en los que la puerta puede llegar a tocar el fondo, en general se mantiene muy estable a cierta altura. Basándose en impresiones y observaciones realizadas durante todos los lances de la campaña, a través de la pantalla de los sensores, se estima que el contacto con el fondo ocurre en menos del 1% del tiempo total de arrastre.

6.1.2.Consumo

La Figura 17 muestra los diagramas de cajas y bigotes de los consumos de combustible de los lances realizados con puertas semipelágicas y puertas de fondo, separando también los lances realizados hacia el sur (rumbo 180°) y los realizados hacia el norte (rumbo 360°).

Consumo de combustible puertas semipelágicas/puertas de fondo

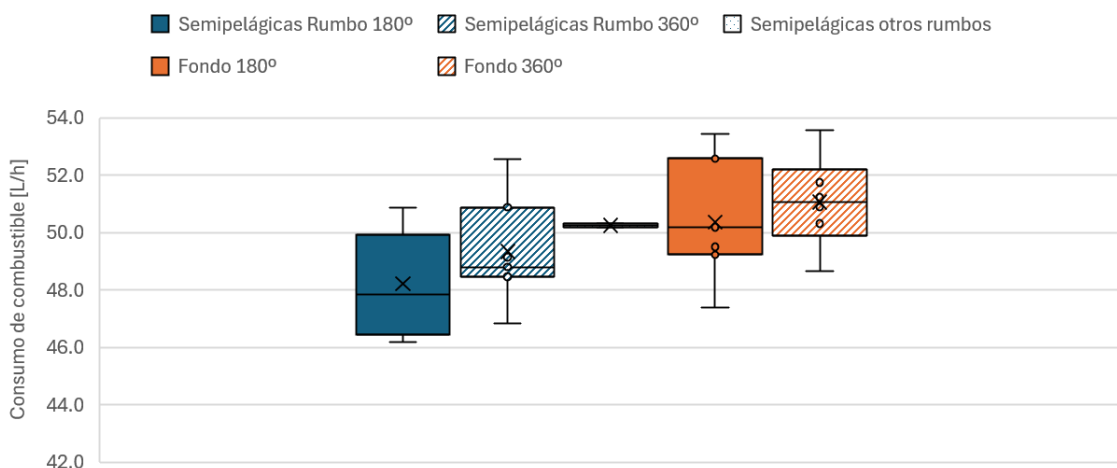


Figura 17. Diagrama de cajas y bigotes de los consumos de combustible para las distintas puertas y rumbos.

Por un lado, se observa que, de forma general, las puertas de fondo mostraron un consumo de combustible superior a las puertas semipelágicas (50.68 L/h vs 48.88 L/h respectivamente). Por otro lado, se observa que dentro del uso de un mismo tipo de puerta, los lances con orientación hacia el norte (360°) mostraron por lo general consumos más elevados que aquellos realizados hacia el sur (180°).

Por otro lado, en los dos lances que se realizaron nuevamente con puertas semipelágicas y rumbos diferentes (70° y 270°), el consumo es ligeramente más elevado al resto de lances realizados con puertas semipelágicas (50.25 L/h vs 48.23 L/h y 49.34 L/h respectivamente). Concretamente, estos dos lances se realizaron modificando el braket de anclaje del cable en las puertas, pasándolo al braket delantero. Esto se hizo para intentar igualar tanto la apertura de puertas como el cable largado con respecto a los lances de puertas de fondo, ya que con las puertas de fondo se tuvo que largar más cable para igualar la apertura horizontal de puertas. Por lo tanto, se realizaron estos dos nuevos lances, cambiando el braket de anclaje para poder obtener la misma apertura de puertas con cantidades de cable largadas similares. Esto incrementó ligeramente el consumo medio de estos dos lances (50.25 L/h), pero siguió manteniéndose por debajo

de los consumos medios con puertas de fondo (50.68 L/h). En la siguiente tabla (Tabla 3) se muestran los valores medios, desviaciones estándar, mínimos y máximos del uso de distintas puertas y rumbos:

Tabla 3 . Resultados de consumos de combustible para las distintas puertas y rumbos.

Consumos Puertas semipelágicas [L/h]				
	Promedio	SD	Mínimo	Máximo
Total	48.88	1.73	46.17	52.55
Rumbo 180°	48.23	1.66	46.17	50.88
Rumbo 360°	49.34	1.71	46.84	52.55
Otros rumbos	50.25	0.06	50.19	50.31
Consumos Puertas de fondo [L/h]				
Total	50.68	1.75	47.40	53.56
Rumbo 180°	50.36	1.90	47.40	53.44
Rumbo 360°	51.06	1.48	48.65	53.56

La ecuación [EC.1] muestra el porcentaje de reducción de consumo instantáneo entre las distintas puertas:

$$Reducción\ consumo\ inst.\ [%] = \frac{\overline{C_{fondo}} - \overline{C_{semipel.}}}{\overline{C_{fondo}}} * 100 = 3,55\% \quad [EC.1]$$

Como se puede apreciar en la ecuación, la reducción de consumo instantáneo fue del 3,55% con las puertas semipelágicas. Para saber esta diferencia de consumo entre puertas es estadísticamente significativa, se realizó una comparación tipo t-test de los consumos instantáneos entre las diferentes puertas. El valor p de la comparativa t-test es de p=0.011. Por lo tanto, se concluye que la diferencia en consumos dada por el cambio de puertas es estadísticamente significativa.

Atendiendo a las curvas de consumo del motor, la relación entre el consumo instantáneo (L/h) y la potencia entregada (kW) por un motor es lineal. Es decir, el consumo aumenta

de forma proporcional al aumento de la potencia entregada por el motor. Por otro lado, la potencia entregada por el motor se calcula de la siguiente forma [EC.2]:

$$P_{motor} [kW] = T_{motor} [kN.m] * N \left[\frac{1}{s} \right] \quad [EC.2]$$

Siendo T el par entregado por el motor y N su velocidad de giro representados en kN.m y en 1/s respectivamente. Por lo tanto, existen dos formas de aumentar el consumo del motor: i) aumentar el par entregado; ii) aumentar la velocidad de giro. Dicho de otra forma, para una misma velocidad de giro, el aumento del par aumentaría el consumo del motor. Por lo tanto, una reducción de la fuerza de arrastre dada por el uso de las puertas semipelágicas debería disminuir el par y por lo tanto el consumo de combustible para una misma velocidad de giro. Figura 18 muestra 3 curvas: i) curva de consumo obtenida en ruta; ii) curva (puntos naranjas) durante el arrastre con puertas semipelágicas; iii) curva (puntos verdes) durante el arrastre con puertas de fondo.

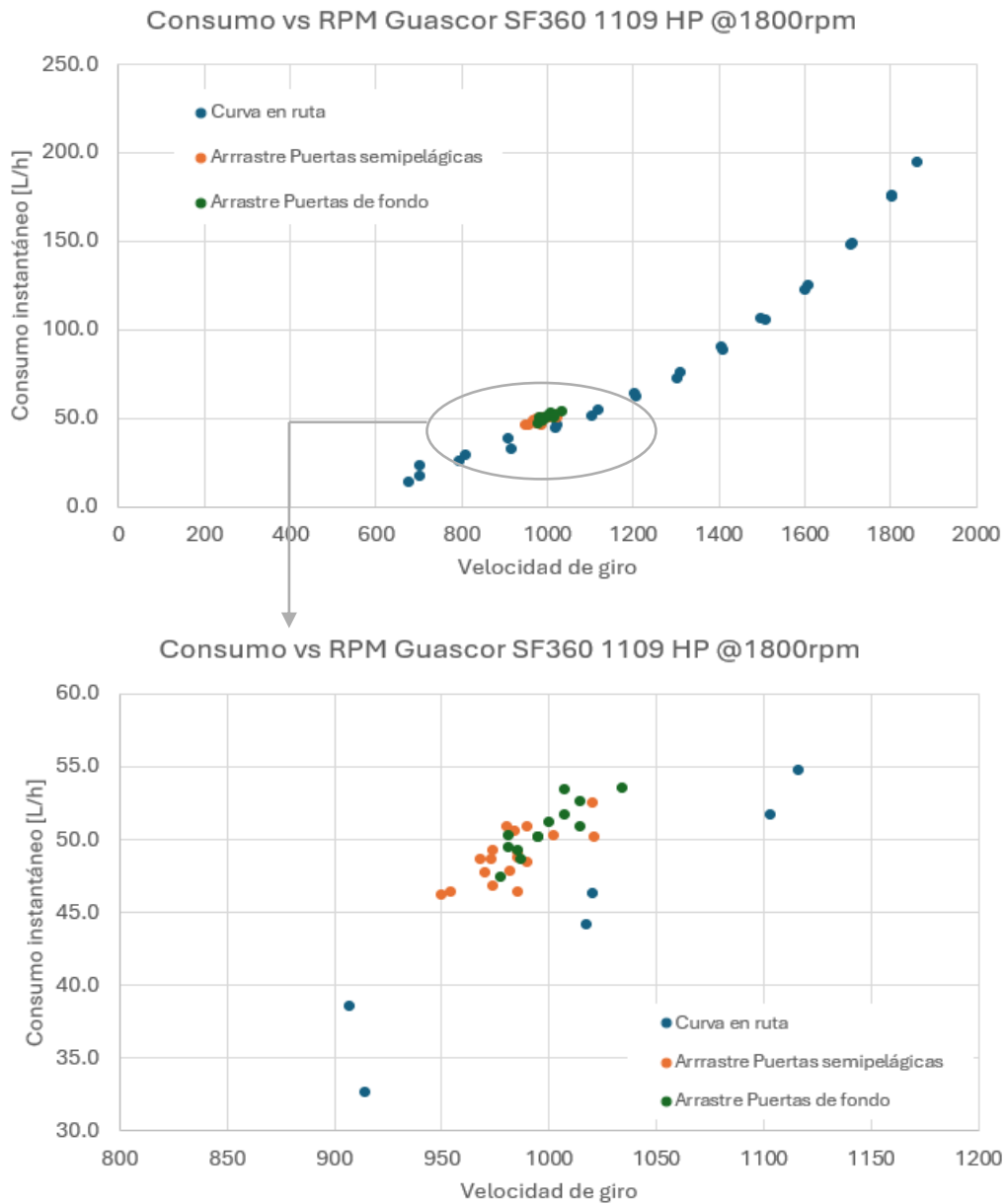


Figura 18. Relación entre consumo instantáneo de combustible y velocidad de giro del motor principal

Por lo general, se confirma que, todos los puntos de los lances de arrastre, independientemente del tipo de puerta, están por encima de la curva de consumo de ruta. Esto es lógico ya que, para una misma velocidad de giro, la fuerza o par que tiene que realizar el motor es superior durante el arrastre. Sin embargo, no se observa una

clara diferencia entre los puntos de puertas semipelágicas y puertas de fondo. Por ello, se concluye que, pese a que en términos generales las puertas semipelágicas hayan consumido menos, deberían realizarse más pruebas para poder contrastar cómo disminuyen la fuerza de arrastre (o par entregado por el motor) de una forma más exhaustiva.

6.1.3.Captura

A continuación, se muestra el mapa con las posiciones de los lances efectuados con los distintos tipos de puertas (Figura 19).

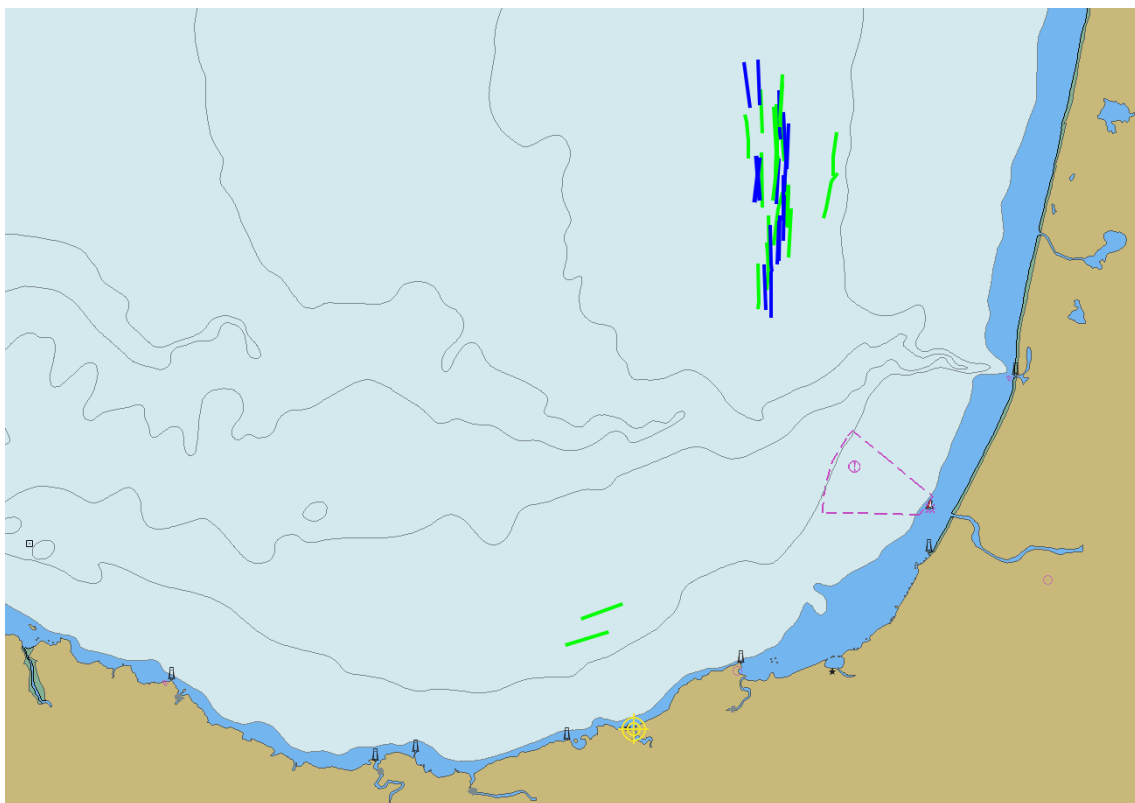


Figura 19. Mapa con los lances efectuados con cada tipo de puertas. Semipelágicas en verde y de fondo en azul.

La composición de las capturas por lance ha sido analizada de manera descriptiva mediante la Figura 20 donde se muestra la composición de cada lance en términos de proporción de cada especie en total de individuos y en peso total de cada lance mostrando que la composición de las capturas varía según el tipo de puerta. También se ha calculado la distribución promedio que resultaría teniendo en cuenta todos los lances (Figura 21) donde se puede apreciar a simple vista una mayor proporción tanto en número de individuos como en peso de bacaladilla para las puertas semipelágicas y una mayor proporción de merluza, gallo o jurel para las puertas de fondo.

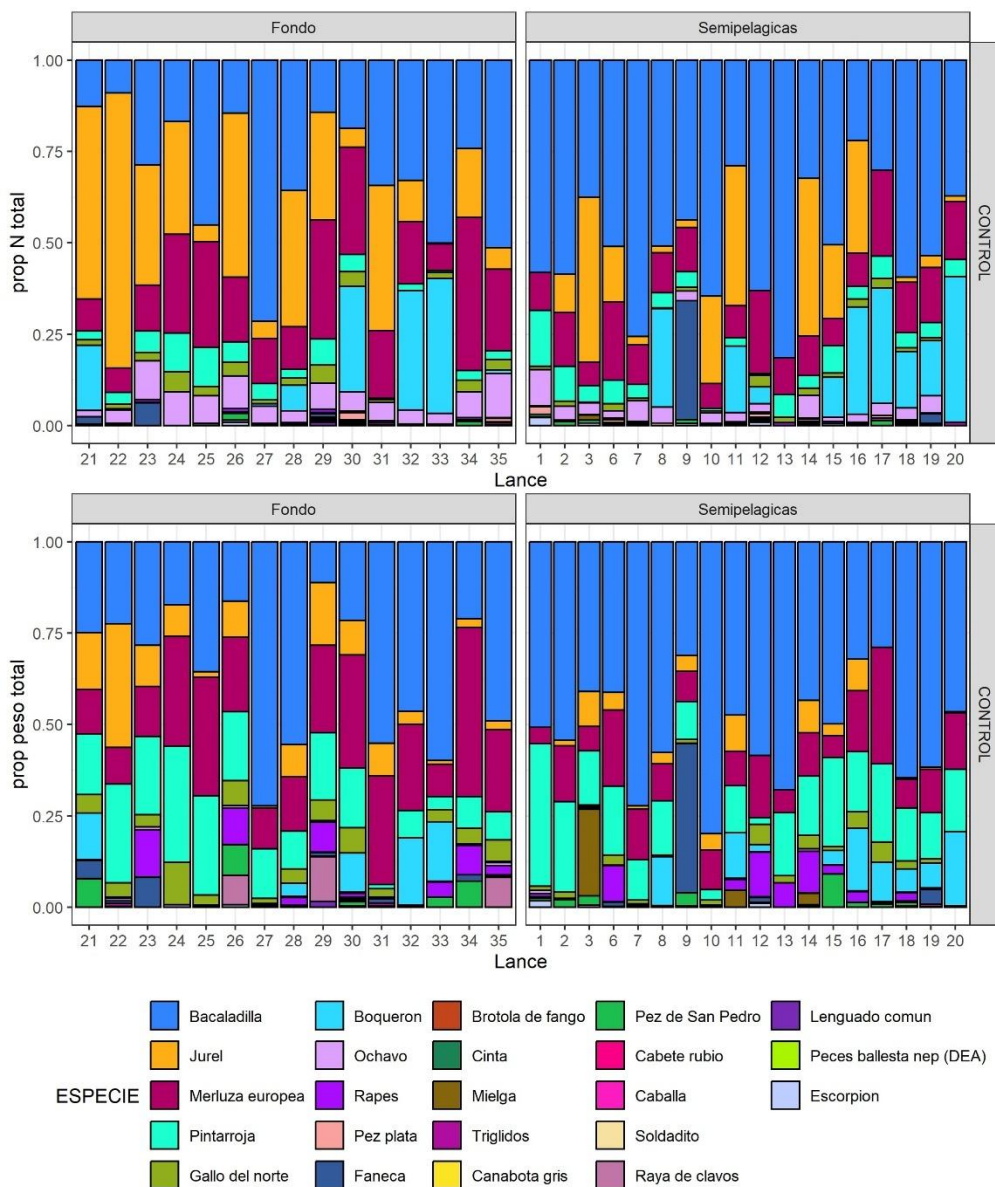


Figura 20: Proporción de capturas en número de individuos (panel de arriba) y en peso (panel de abajo) de cada especie (colores) para cada lance (eje x) según el tipo de puerta (Fondo a la izquierda, Pelagicas a la derecha) para los lances tipo control.

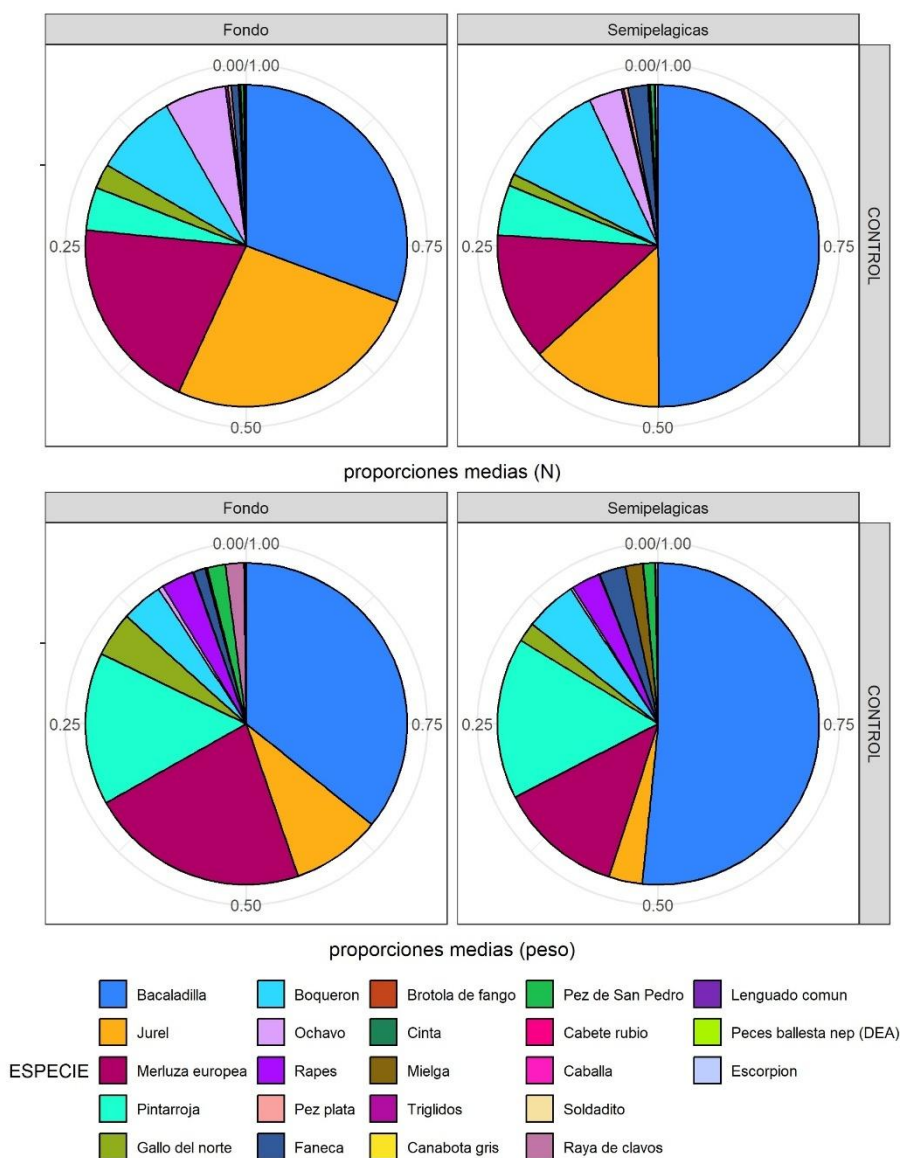


Figura 21: Proporción de capturas promedio teniendo en cuenta todos los lances tipo control en número de individuos (panel de arriba) y en peso (panel de abajo) de cada especie (colores) según el tipo de puerta (Fondo a la izquierda, Pelagicas a la derecha) para los lances tipo control.

Además de la comparativa descriptiva de la composición total de las capturas, se ha analizado la captura total de cada especie mediante el número total de individuos por lance y mediante el porcentaje en peso por lance respecto al peso total (teniendo en cuenta todas las especies) de cada lance. El número de lances analizados con puertas de fondo y con puertas semipelágicas han sido 15 y 18 respectivamente, todas ellas con el copo control.

La Figura 22 y Figura 23 muestran de manera descriptiva estos datos para cada especie agrupando los datos según el tipo de puerta usada en cada lance. Podemos ver que para muchas de las especies el número total de individuos capturados durante los lances analizados es muy bajo. Entre las especies mejor representadas, como la bacaladilla, pintarroja, gallo, merluza o jurel podemos apreciar de manera descriptiva que las medianas tanto del número total de individuos como del porcentaje en peso son mayores para el grupo de lances con puertas de fondo, a excepción de la bacaladilla para la que la mediana para el grupo de lances con puertas pelágicas es mayor.

Según los modelos de regresión ajustados a estos datos para cada especie, las diferencias entre las puertas de fondo y puertas semipelágicas de la captura total media por lance y del porcentaje medio en peso por lance son estadísticamente significativas para estas especies: Jurel, merluza, gallo y bacaladilla. En el caso de las primeras tres especies, se estima que la captura media es mayor para los lances con puertas de fondo y para la bacaladilla se estima que la captura media es mayor con puertas semipelágicas (Tabla 4 y Figura 24).

Hay especies como el boquerón o el ochavo en los que se pueden apreciar diferencias visuales en los gráficos. Sin embargo, debido al bajo número de capturas y lo poco representados que han estado entre la totalidad de lances de la campaña, no se consideran estas diferencias como representativas.

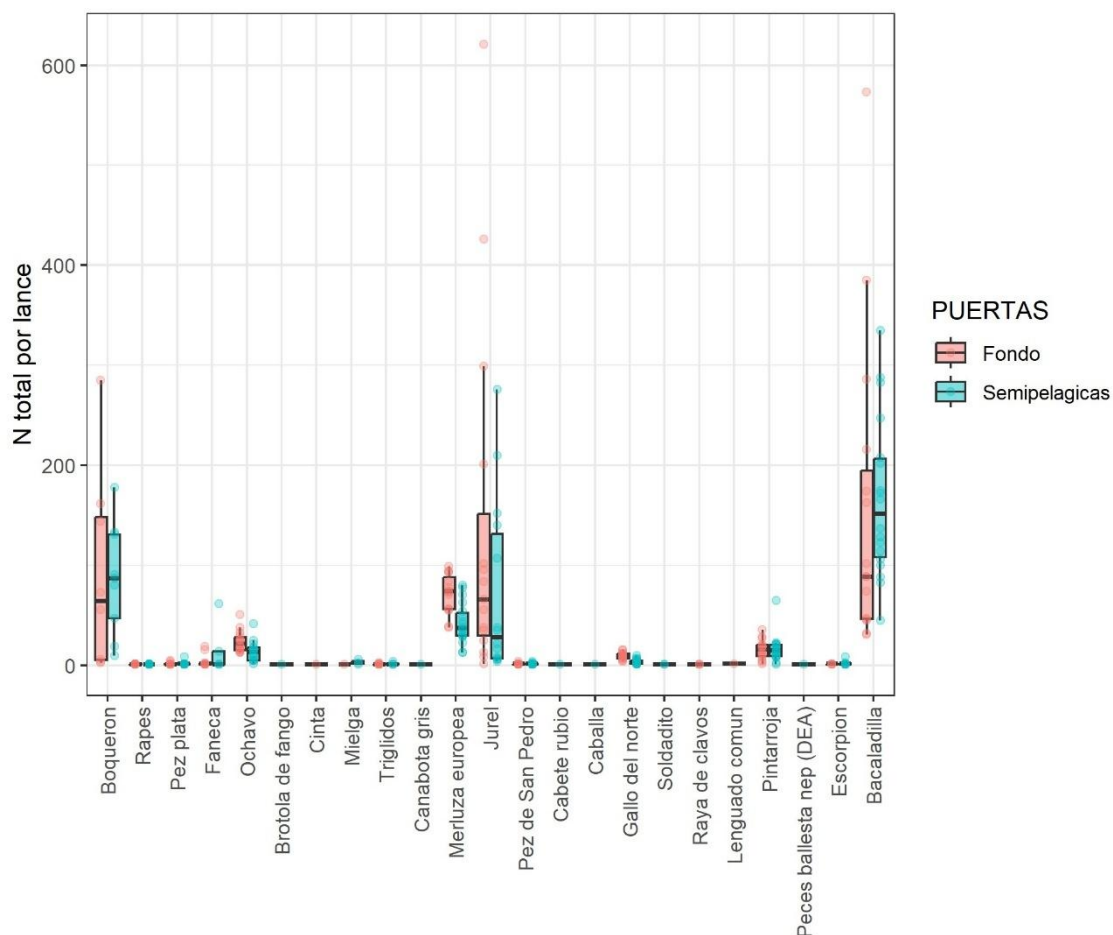


Figura 22: Número total de individuos por lance para cada especie según el tipo de puertas (colores). Las rayas horizontales de cada caja representan la mediana de todos los lances de cada grupo. Los puntos son las observaciones individuales de cada lance.

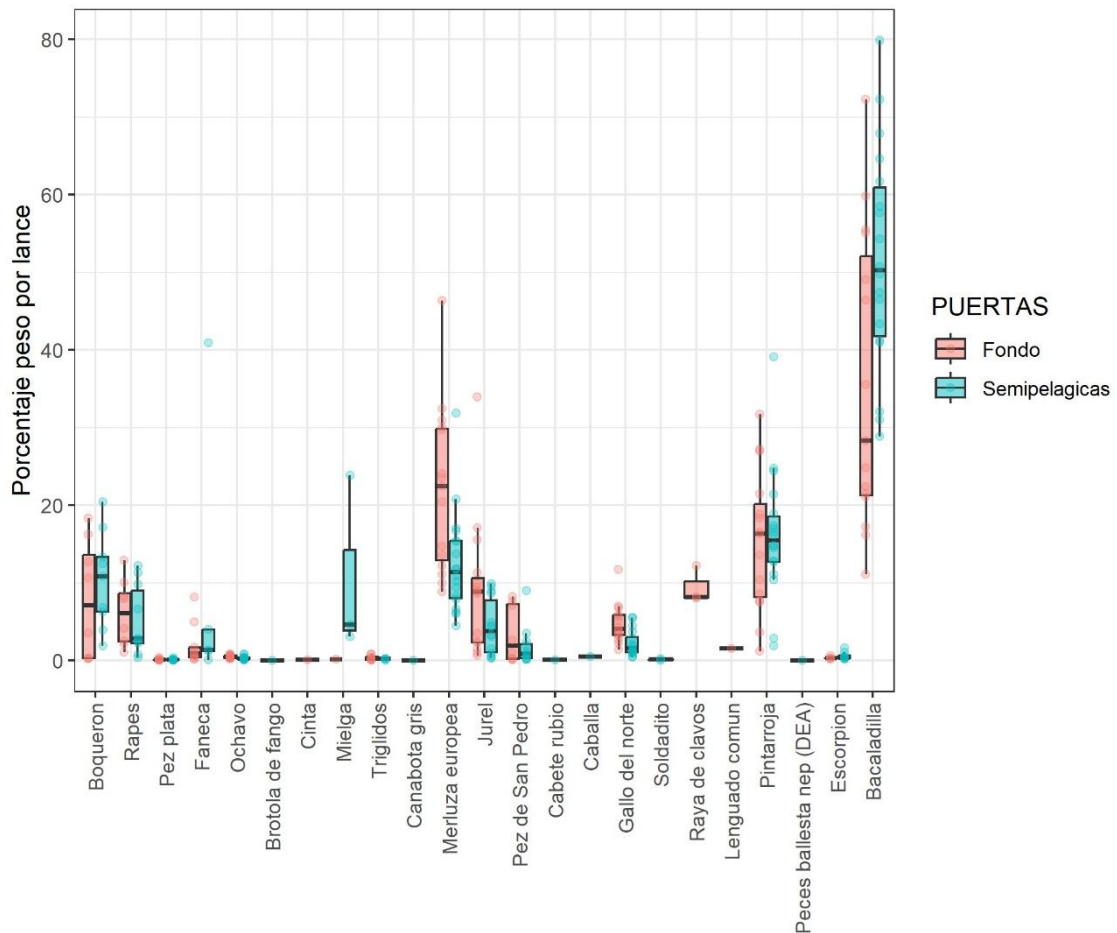


Figura 23: Porcentaje en peso por lance para cada especie según el tipo de puertas (colores). Las rayas horizontales de cada caja representan la mediana de todos los lances de cada grupo. Los puntos son las observaciones individuales de cada lance.

Tabla 4: Número total de individuos por lance (N) y porcentaje total en peso (Porc. Peso) por lance estimado por el modelo de regresión según la variable tipo de puerta (Fondo o semipelágicas) y el p-valor asociado a esta variable, para las especies con un p-valor menor o cercano a 0.05.

Especie	N P. Fondo	N P. Semipelágicas	p-valor	Porc. Peso P. Fondo	Porc. Peso P. Semipelágicas	p-valor
Bacaladilla	156.8	166.7	0.027	35.8	51.6	0.012
Jurel	138.2	73.4	<0.001	9.0	4.4	0.06
Merluza	71.9	42.2	<0.001	22.0	12.5	0.003
Gallo	9.7	3.9	<0.001	4.8	2.2	0.003

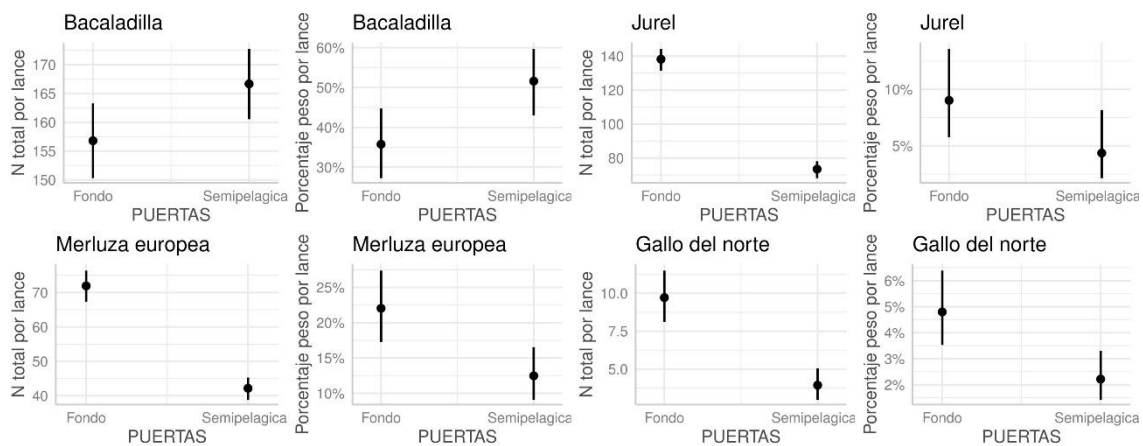


Figura 24: Número total de individuos por lance y porcentaje total en peso por lance estimado por el modelo de regresión según la variable tipo de puerta (P. Fondo, P. Pelágicas), para las especies con un p-valor menor o cercano a 0.05. Los puntos representan la estima puntual del modelo y las rayas verticales los intervalos de confianza del 95%.

Adicionalmente, se analizó si existen diferencias significativas en la distribución de tallas de la captura entre las dos puestas de arrastre probadas (Figura 25). En este caso, el análisis se llevó a cabo únicamente para las especies mejor representadas. Se puede observar que las curvas para cada tipo de puerta están solapadas en gran medida, mostrando que la distribución de tallas es muy similar. Con el objetivo de analizar esta potencial similaridad en mayor detalle, se muestra la diferencia de dicha distribución de

tallas para cada especie entre puertas de arrastre utilizadas mediante la Figura 26, donde no se observan diferencias significativas ya que los intervalos de confianza al 95% de las curvas delta no se solapaban con el valor 0,0. Esto demuestra que efectivamente, las distribuciones de tallas capturadas para cada especie con las puertas semipelágicas y de fondo no son significativamente diferentes.

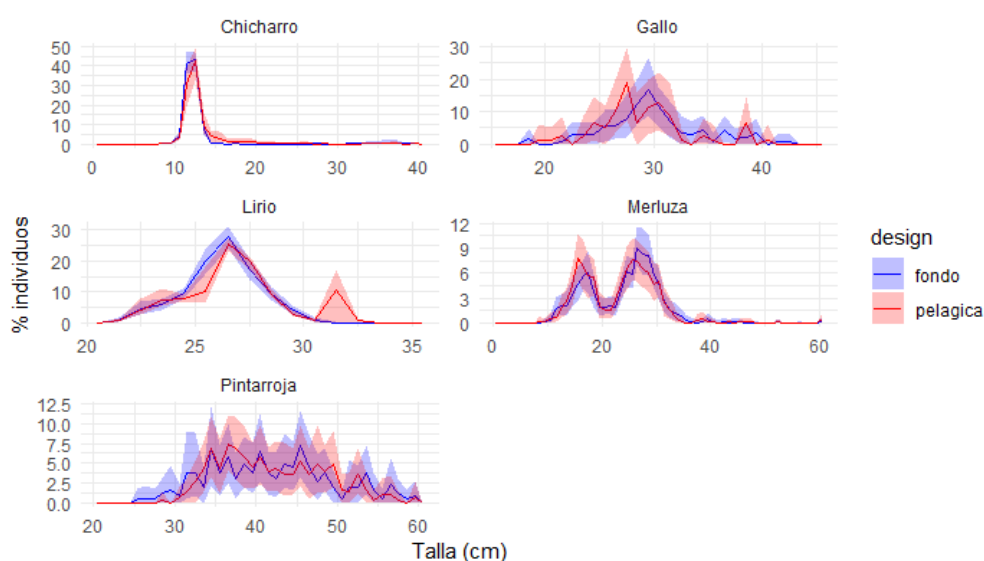


Figura 25. Distribución de tallas de cada especie capturadas con las puertas de fondo (azul) y semipelágicas (rojo).

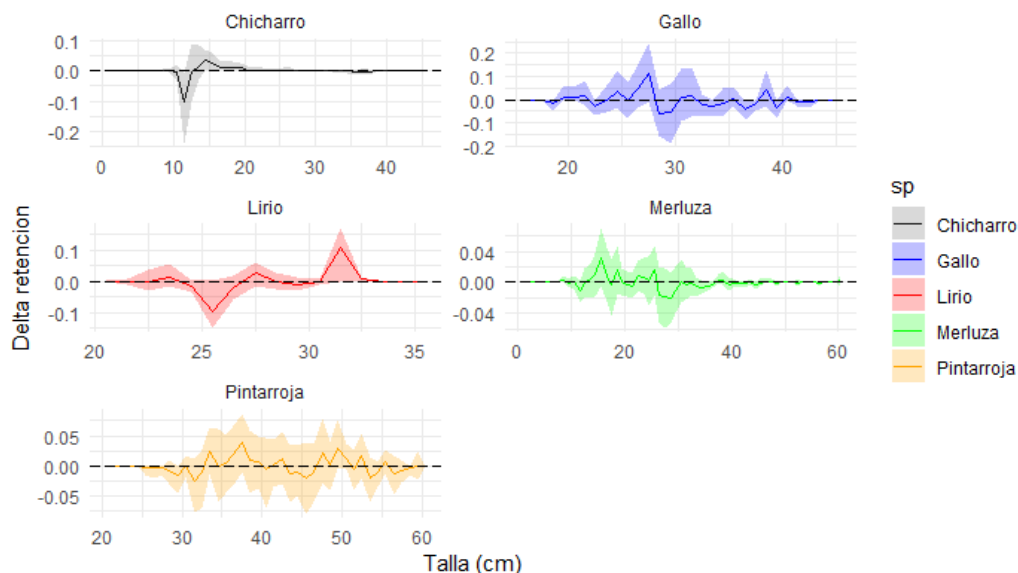


Figura 26. Comparación de las tallas capturadas con puertas semipelágicas y de fondo para cada especie. Si los intervalos de confianza se solapan con el valor 0,0, no hay diferencias significativas entre ambos tipos de puertas. Si los intervalos están completamente por encima de 0,0, las puertas semipelágicas capturan más que las de fondo. Si los intervalos están completamente por debajo de 0,0, las puertas semipelágicas capturan menos que las de fondo.

6.2. Dispositivo selectivo y configuraciones

La Figura 27 muestra que el reparto de capturas fue cercano al 50% entre los dos copos utilizados (control y T0, T45 o T90), lo que indica que las pescas se realizaron sobre poblaciones similares.

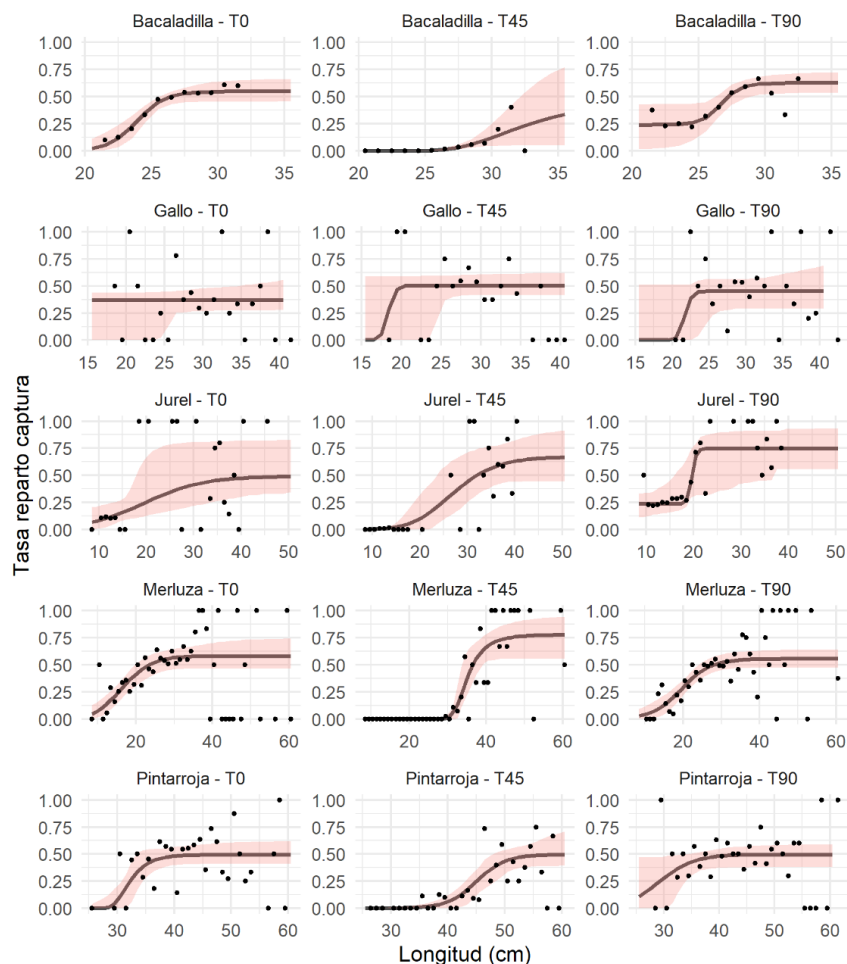


Figura 27. Curvas de reparto de capturas entre el copo control y el experimento en cuestión (T0, T45 o T90).

Las curvas de selectividad estimadas para cada especie muestran una tendencia general a un desplazamiento hacia tallas mayores al aplicar la malla T45 con respecto al resto de experimentos (Figura 28). Este desplazamiento es estadísticamente significativo para la bacaladilla, la merluza y la pintarroja. Para el jurel y el gallo, los intervalos de confianza son demasiado anchos, de modo que las curvas se solapan entre sí, indicando una mayor incertidumbre en las estimas debido a un número menor de individuos capturados. En el caso de la bacaladilla, la merluza y la pintarroja, una malla cuadrada (T45) ofrece una mayor abertura para el escape de especies de sección redonda. Esta mayor abertura se traduce en que el aparejo no retiene bacaladillas por debajo de 24 cm, merluzas por debajo de 30 cm ni pintarrojas por debajo de 33 cm. El

copo T90 por su parte, no muestra diferencias significativas con respecto al copo T0, aunque si un indicio de mejora de la selectividad, ya que las curvas para la bacaladilla y la merluza están desplazadas hacia tallas mayores. En el caso del gallo, el copo T45 indica una capacidad de retener individuos de menores en tamaño que el copo T90, aunque estos resultados no son estadísticamente significativos.

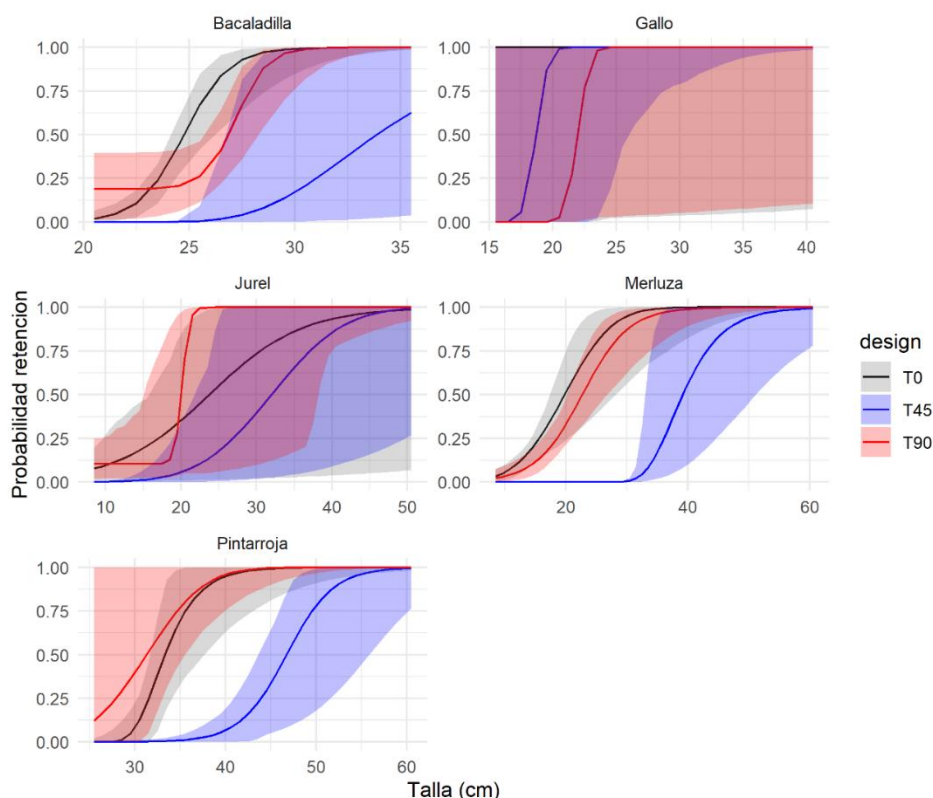


Figura 28. Curvas de selectividad las diferentes especies y experimentos.

El Comité Asesor de ICES sobre Gestión Pesquera recomienda que L25 corresponda a la talla mínima de desembarque (actualmente MCRS) de la especie objetivo (Anon., 1979). En la siguiente tabla se muestran los valores de la L25 para cada especie analizada, así como su MCRS:

Tabla 5: L25 (longitud a la cual los individuos tienen un 25% de probabilidad de ser retenidos) para las distintas especies analizadas, así como su MCRS (talla mínima de referencia a efectos de conservación).

	MCRS	L25_{T0}	L25_{T45}	L25_{T90}
Bacaladilla	18	23	31	25
Gallo	20	-	18	21
Jurel	15	17	26	19
Merluza	27	15	36	18
Pintarroja	-	31	44	28

Se observa un salto cualitativo en el L25 de las especies con sección redonda, pasando de estar por debajo de su MCRS en el caso de las mallas T0 y T90 para la merluza, a estar muy por encima del mismo. Esto indica que con la malla cuadrada (T45) la probabilidad de escape aumenta de forma muy significativa, lo que hace reflexionar sobre la posibilidad de encontrar la luz de malla adecuada para este tipo de configuración.

En el caso de la bacaladilla y el jurel, ya con el T0 estaríamos por encima de la MCRS, por lo que no haría falta buscar una nueva configuración para aumentar el escape.

Para el gallo, no se obtuvieron datos suficientes para obtener el L25, pero una configuración T90 parece ser bastante adecuada, aunque también se puede buscar la luz de malla optima en su configuración T0.

7.DISCUSIÓN

Durante la campaña se contactó con el representante de Eurored, que nos trasladó algunas recomendaciones y ajustes para que las puertas trabajaran de forma adecuada a acordes a las necesidades que teníamos en el momento. Se discutieron aspectos técnicos relevantes. Señalaron que para realizar una comparativa válida es necesario conocer el modelo de puertas horizontales utilizadas, ya que ellos disponen del modelo CHAMPION, que ha demostrado un rendimiento superior en consumo y maniobrabilidad. Explicó que las puertas horizontales modernas, gracias a su diseño hidrodinámico, ofrecen mayor potencia de abertura, menor superficie y resistencia, lo que permite trabajar con menos pala y, por tanto, con menor consumo. También destacó que estas puertas son más estables durante maniobras bruscas. Insistió en que para una comparación justa, las puertas deben ser similares en superficie y peso, y deben operar en condiciones equivalentes, incluyendo la abertura horizontal.

En la respuesta, se le informó que las puertas utilizadas eran unas Poly-Ice Concord de 2,2 m², originalmente de 300 kg, a las que se añadieron 100 kg en el patín. Estas puertas pertenecen a la Secretaría General de Pesca y se están utilizando para evaluar si las semipelágicas mejoran el patrón de consumo.

En este sentido, las nuevas puertas semipelágicas adquiridas resultaron ser adecuadas para operar con el Emma Bardan, acorde a las características del buque. Sin embargo, resultaron tener un mayor potencial de pesca que las de fondo del barco y, por lo tanto, un mayor consumo que si se hubieran elegido unas puertas de similares características de pesca.

Como no había opción de cambiar de puertas, durante la campaña recomendó ajustar el tiro de las puertas semipelágicas hacia el agujero más adelantado del braket y modificar la posición de los pies de gallo laterales para cerrar más la puerta, siempre vigilando su estabilidad. Si fuera necesario cerrar aún más, sugirió reducir la malleta o trabajar con menos cable, aunque advirtió que estas medidas no serían aplicables a las puertas de fondo.

Aunque se valoran otras opciones a futuro, durante la campaña se buscó comparar estas puertas en condiciones similares. Se reconoció que la abertura horizontal es la principal variable que podría estar afectando los resultados, por lo que se hicieron modificaciones para igualarla. El cambio de puertas requiere entrar a puerto, lo que limita el margen de maniobra para realizar ajustes y pruebas adicionales.

Una vez terminada la campaña, también se contactó con el representante de Santimar. Este destacó la importancia de realizar un buen reglaje, ya que la capacidad de trabajo de la puerta depende del ángulo de ataque. Este ángulo se ajusta modificando las uniones del cable y de los pies de gallo, determina el tiro. Además, se recordó que el rendimiento de las puertas de arrastre se mide por el valor entre el coeficiente de abertura (CL) y el coeficiente de resistencia (CD), lo que refuerza la necesidad de optimizar tanto la geometría como la configuración de las puertas para lograr un equilibrio eficiente entre apertura y consumo.

Todo esto se debe tener en cuenta para futuras pruebas con puertas semipelágicas.

8. CONCLUSIONES

FUNCIONAMIENTO DE LAS PUERTAS

Resulta esencial realizar una buena evaluación previa de las características del buque, la red y las puertas que utiliza el barco para poder elegir las puertas mas adecuadas y que mejor se adapten a estas condiciones.

Teniendo en cuenta lo anterior, resulta clave determinar cuál es el objetivo del cambio de sistema (puertas). Si el objetivo es mantener estables las condiciones de pesca previas y reducir consumo, se elegirán unas puertas semipelágicas que se asemejen en potencial de trabajo a las anteriormente utilizadas. Esto es importante, ya que hay puertas en el mercado que ofrecen un mayor potencial de trabajo (básicamente mayor poder de expansión, lo que posibilita utilizar redes con mayores aberturas) a similares consumos que las clásicas de fondo.

SELECTIVIDAD

El Comité Asesor de ICES sobre Gestión Pesquera recomienda que L25 corresponda a la talla mínima de desembarque (actualmente MCRS) de la especie objetivo (Anon., 1979). En la siguiente tabla se muestran los valores de la L25 para cada especie analizada, así como su MCRS:

Tabla 5: L25 (longitud a la cual los individuos tienen un 25% de probabilidad de ser retenidos) para las distintas especies analizadas, así como su MCRS (talla mínima de referencia a efectos de conservación).

	MCRS	L25 _{T0}	L25 _{T45}	L25 _{T90}
Bacaladilla	18	23	31	25
Gallo	20	-	18	21
Jurel	15	17	26	19
Merluza	27	15	36	18
Pintarroja	-	31	44	28

La malla T45 favorece de forma significativa el escape de especies de sección redonda (Bacaladilla, jurel y merluza)

Merluza: Con la malla cuadrada (T45) la probabilidad de escape aumenta de forma muy significativa, sería necesario determinar la luz de malla adecuada para este tipo de configuración.

Bacaladilla y el jurel: Con el T0 estaríamos por encima de la MCRS, por lo que no haría falta buscar una nueva configuración para aumentar el escape.

Gallo: No se obtuvieron datos suficientes para obtener el L25, pero una configuración T90 parece ser bastante adecuada, aunque también se puede buscar la luz de malla optima en su configuración T0.

CAPTURA

Entre las especies mejor representadas, como la bacaladilla, pintarroja, gallo, merluza o jurel podemos apreciar de manera descriptiva que las medianas tanto del número total de individuos como del porcentaje en peso son mayores para el grupo de lances con

puertas de fondo, a excepción de la bacaladilla para la que la mediana para el grupo de lances con puertas pelágicas es mayor

Las diferencias entre las puertas de fondo y puertas semipelágicas de la captura total media por lance y del porcentaje medio en peso por lance son estadísticamente significativas para estas especies: Jurel, merluza, gallo y bacaladilla. En el caso de las primeras tres especies, se estima que la captura media es mayor para los lances con puertas de fondo y para la bacaladilla se estima que la captura media es mayor con puertas semipelágicas

IMPACTO EN EL FONDO

Las puertas semipelágicas tienen el potencial de desplazarse a cierta distancia del fondo durante la operación de arrastre, eliminando así el impacto que producen en el fondo. No obstante, existen momentos puntuales en los que la puerta puede llegar a tocar el fondo.

En general se mantienen estables a cierta altura, para lo que es esencial mantener una buena monitorización de su funcionamiento a tiempo real y llevar un buen control sobre ellas.

Basándose en observaciones realizadas durante todos los lances de la campaña, a través de la información proporcionada por los sensores, se estima que el contacto con el fondo ocurre en menos del 1% del tiempo total de arrastre, reduciendo casi hasta la eliminación el impacto de las puertas sobre el fondo.

CONSUMO DE COMBUSTIBLE

El uso de puertas semipelágicas redujo el consumo instantáneo medio del motor principal en un 3,55% respecto a las puertas de fondo.

Esto se pudo observar tanto en los lances realizados hacia el sur (180°), hacia el norte (360°), como los realizados en otras direcciones. Sin embargo, las pruebas de mar se realizaron tratando de mantener la similitud de apertura de puertas entre los lances. En

futuros estudios, interesaría realizar un mismo análisis comparativo con el punto óptimo de funcionamiento de cada puerta, y comparar el consumo de combustible derivado de su uso, teniendo también en cuenta las capturas, para el análisis del índice de eficiencia energética FUI (Fuel Use Intensity, $L_{\text{fuel}}/t_{\text{capturas}}$). Es decir, una comparativa en condiciones de mar similares, con la longitud de cable y apertura óptimas para cada tipo de puerta, registrando también el impacto de su uso en el total de las capturas y haciendo un análisis más exhaustivo del consumo de combustible.

Y es que, según las pruebas realizadas, se concluye también que las puertas semipelágicas tienden a tener mayores aperturas entre puertas con respecto a las puertas de fondo, como se ha observado en otros estudios comparativos (Grimaldo et al., 2015). Por lo tanto, sería de gran interés buscar las condiciones de operación óptimas para cada tipo de puerta (tal y como se emplearían en futuras mareas de arrastreros), y comparar su impacto en el consumo de combustible.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Basterretxea M., Cuende E., Mugerza, A., Citores, L., 2022. Mejora de la selectividad del arrastre en el marco de la Obligación de Desembarque de la P.P.C. Informe técnico elaborado por AZTI-BRTA para Secretaría General de Pesca (MAPA).
- Cuende, E., Sistiaga, M., Herrmann, B., Basterretxea, M., & Arregi, L. (2022). Escape of hake (*Merluccius merluccius*), horse mackerel (*Trachurus trachurus*) and blue whiting (*Micromesistius poutassou*) in codends with shortened lastridge ropes. *Mediterranean Marine Science*, 23(4), 917–934. <https://doi.org/10.12681/mms.31041>.
- Franco, J., Ferarios, J.M. 2013, Optimización energética y de seguridad de la maniobra de arrastre de fondo con puertas (NEWDOOR). Elaborado por AZTI-Tecnalia para Gobierno Vasco.
- Eayrs, S., Thorbjornson, T., Ford, J., Deese, H., Smith, G. 2012. Saving fuel to increase profitability and reduce environmental impact in a U.S. ground fish fishery. In: Second International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency E-Fishing, May 2012, Vigo, Spain.
- Grimaldo, E., Pedersen, R., Sistiaga, M., 2015. Energy consumption of three different trawl configurations used in the Barents Sea demersal trawl fishery. *Fisheries research* 165, 71-73.
- Nguyen, T., Phillip, W. and George, L., Kelly M., Jan, K., Paul, W. 2014. Drop Chain Footgear: a New Approach to Environmentally Friendly Inshore Northern Shrimp Fishery in Newfoundland and Labrador, Canada. 2014 OCEANS - ST. JOHN'S, OCEANS-IEEE, 0197-7385.
- STECF (2025). Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries – 78th Plenary Report (STECF-PLEN-25-01). EWG 24-16: Implementation of the Technical Measures Regulation; Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2025; EUR 28359 EN.
- Sala, A., Depestele, J., Gümüş, A., Laffargue, P., Nielsen, R., Polet, H., Smith, C.J., Zengin, M., Bastardie, F., Eigaard, O.R., Hamon, K.G., Jensen, F., Lucchetti, A., Méhault, S., Notti, E., Papadopoulou, N., Petetta, A., Sköld, M., Vincent, B., Rijnsdorp, A.D. 2023. Technological innovations to reduce the impact of bottom gears on the seabed. *Marine Policy*, 157: 105861
- Wileman, D.A., Ferro, R.S.T., Fonteyne, R., and Millar, R.B. (Ed.). 1996. *Manual of Methods of Measuring the Selectivity of Towed Fishing Gears*. ICES Coop. Res. Rep. No. 215, ICES, Copenhagen, Denmark.

Zhuang, X., You, X., Kumazawa, T., Ito, S., Shiode, D., Hu, F. 2024. Dynamic performance of strategy for transitioning from conventional bottom otter trawling to semi-pelagic trawling through towing tank experiments and numerical simulations. Ocean Engineering, Volume 300, 117436, ISSN 0029-8018. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.117436>

10. AGRADECIMIENTOS

Agradecer al Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación por la financiación de este trabajo, así como por prestar su barco, el B/O Emma Bardan, para el servicio de esta campaña. Igualmente agradecer el buen quehacer y dedicación de la tripulación del Emma Bardan, con su capitán Santiago Baluja Pino al frente.

11. ANEXO 1 – Tabla con la información de los lances

Anyo	Día	Lance	Hora la rgada	Latitud l argada	Longitud _argada	Fondo _1	Hora virada	Latitud v irada	Longitud _virada	Fondo _2	Tiempo arrastr e	Cable	R.P.M	Abertura _Puertas	Altura_p uertas_f ondo	Altura _Red	Velocidad	T_Ag ua	Rumbo	Viento (kn)	Viento (dir)	Mar (m)	Mar (dir)	Corriente	Exp	Puertas
2025	05/06/2025	8	15:46	43°48' 7	1°45' 0	120	16:36	43°51' 2	1°44' 6	120	0:50	340	950	130	4.5	3.2	3	13	180	6	210	1	310	No hay	Control_T45	SP
2025	05/06/2025	9	18:38	43°52' 8	1°44' 5	118	19:28	43°55' 1	1°44' 2	118	0:50	330	968	118	4.5	3.3	2.9	13	360	5	210	1	310	Contra	Control_T0	SP
2025	06/06/2025	10	8:55	43°53' 5	1°44' 3	117	9:49	43°50' 9	1°44' 1	118	0:54	320	974	125	5.5	3.2	3	13	180	11	240	2	310	No hay	Control_T0	SP
2025	06/06/2025	11	11:12	43°49' 8	1°44' 1	119	12:02	43°47' 4	1°43' 9	117	0:50	325	973	121	5.0	3.2	3	13	180	5	220	2	310	No hay	Control_T0	SP
2025	06/06/2025	12	15:46	43°49' 8	1°44' 7	120	16:36	43°51' 8	1°44' 7	119	0:50	320	990	121	5.0	3.3	3	13	360	16	350	1.5	310	Contra	Control_T0	SP
2025	06/06/2025	13	17:52	43°51' 1	1°46' 8	121	18:42	43°53' 4	1°47' 0	122	0:50	325	985	120	4.5	3.2	2.8	13	360	10	340	1.5	300	No hay	Control_T0	SP
2025	07/06/2025	14	8:49	43°49' 7	1°44' 7	119	9:40	43°52' 2	1°44' 6	118	0:51	300	990	115	4.5	3.1	2.8	13	360	18	260	1	310	Costado	Control_T0	SP
2025	07/06/2025	15	10:58	43°51' 8	1°44' 6	119	11:48	43°54' 0	1°44' 7	119	0:50	320	1020	127	5.0	3.3	2.9	13	360	16	260	1	310	No hay	Control_T90	SP
2025	07/06/2025	16	14:47	43°54' 8	1°45' 9	122	15:37	43°52' 4	1°45' 8	121	0:50	315	985	120	4.5	3.3	2.9	13	180	10	270	1	310	No hay	Control_T90	SP
2025	07/06/2025	17	16:44	43°50' 8	1°45' 8	121	17:34	43°48' 4	1°45' 8	121	0:50	330	984	119	4.0	3.3	3	13	180	15	280	1	310	No hay	Control_T90	SP
2025	07/06/2025	18	18:41	43°47' 9	1°45' 3	119	19:31	43°45' 6	1°45' 2	120	0:50	330	954	123	4.5	3.3	2.9	13	180	10	290	1	310	No hay	Control_T45	SP
2025	08/06/2025	19	8:50	43°43' 9	1°45' 5	121	9:44	43°46' 4	1°45' 5	122	0:54	330	985	122	4.0	3.2	2.9	13	360	18	300	1	310	Contra	Control_T45	SP
2025	08/06/2025	20	11:08	43°45' 3	1°46' 1	122	11:59	43°42' 8	1°46' 1	125	0:51	355	970	132	4.0	3.1	3	13	180	5	110	1	310	Favor	Control_T45	SP
2025	10/06/2025	21	15:28	43°48' 7	1°46' 0	122	16:18	43°51' 3	1°46' 2	122	0:50	397	958	96	0.0	3.1	3	13	360	5	330	0.5	310	No hay	Control_T45	Fondo
2025	10/06/2025	22	18:34	43°51.1	1°46' 0	122	19:24	43°48' 7	1°46' 4	122	0:50	453	972	111	0.0	3.2	3	13	180	7	60	0.5	310	No hay	Control_T45	Fondo
2025	11/06/2025	23	8:53	43°53' 8	1°46' 7	121	9:43	43°56' 8	1°47' 2	120	0:50	468	951	110	0.0	3.2	3	13	360	15	140	0.5	310	No hay	Control_T45	Fondo
2025	11/06/2024	24	11:14	43°56' 4	1°46' 1	115	12:04	43°53' 8	1°45' 9	120	0:50	460	1014	112	0.0	3.2	3	13	180	17	140	0.5	310	No hay	Control_T90	Fondo
2025	11/06/2023	25	15:26	43°54' 7	1°44' 5	119	16:16	43°52' 1	1°44' 4	120	0:50	465	1007	108	0.0	3.2	3	13	180	15	160	0.5	310	Costado	Control_T90	Fondo
2025	11/06/2022	26	17:23	43°51' 1	1°44' 5	121	18:13	43°48' 6	1°44' 7	120	0:50	465	981	108	0.0	3.2	3	13	180	15	160	0.5	310	Costado	Control_T90	Fondo
2025	12/06/2022	27	8:46	43°45' 3	1°44' 6	119	9:36	43°47' 7	1°44' 5	117	0:50	433	1014	108	0.0	3.2	2.9	13	360	12	270	0.5	300	Costado	Control_T0	Fondo
2025	12/06/2022	28	10:50	43°47' 7	1°44' 2	116	11:40	43°50' 2	1°44' 2	118	0:50	425	1034	104	0.0	3.1	3	13	360	5	270	0.5	300	Costado	Control_T0	Fondo
2025	12/06/2022	29	15:30	43°51' 1	1°44' 0	119	16:20	43°53' 6	1°44' 2	119	0:50	430	1007	102	0.0	3	3	13	360	5	270	0.5	310	Bastante	Control_T0	Fondo
2025	12/06/2022	30	17:55	43°53' 0	1°43' 8	120	18:45	43°50' 5	1°43' 9	121	0:50	436	995	105	0.0	3	3	13	180	5	50	0.5	30	Corriente	Control_T45	Fondo
2025	13/06/2025	31	8:45	43°45' 5	1°44' 5	120	9:35	43°48' 0	1°44' 5	118	0:50	436	981	106	0.0	3.1	3	13	360	5	180	1.5	300	Favor	Control_T45	Fondo
2025	13/06/2025	32	10:41	43°47' 4	1°45' 2	118	11:31	43°44' 9	1°45' 1	120	0:50	430	985	103	0.0	3	3	13	180	5	180	1	350	Favor	Control_T45	Fondo
2025	13/06/2025	33	15:22	43°46' 8	1°44' 2	117	16:12	43°49' 0	1°44' 19	119	0:50	450	987	110	0.0	3	3	13	360	5	340	1	340	No hay	Control_T90	Fondo
2025	13/06/2025	34	17:38	43°49' 8	1°44' 1	120	18:28	43°51' 6	1°44' 0	121	0:50	435	1000	110	0.0	3.1	3	13	360	10	300	1	340	No hay	Control_T90	Fondo
2025	14/06/2025	35	8:44	43°45' 3	1°45' 6	123	9:34	43°42' 8	1°45' 5	122	0:50	440	977	106	0.0	3.1	3	13	180	16	320	1.5	310	Favor	Control_T0	Fondo
2025	14/06/2025	36	10:58	43°44' 9	1°45' 1	121	11:48	43°42' 3	1°45' 2	124	0:50	450	995	110	0.0	3.1	3	13	180	9	350	1.5	310	Favor	Control_T0	Fondo
2025	15/06/2025	37	9:41	43°25' 9	1°59' 5	128	10:31	43°26' 7	1°56' 4	128	0:50	380	1021	128	5.0	3.1	3	13	70	17	350	1	310	Costado	Control_T0	SP
2025	15/06/2025	38	12:25	43°25' 1	1°57' 4	118	13:15	43°24' 4	2°00' 6	120	0:50	410	1002	134	4.0	3	3	13	245	4	120	1	310	Costado	Control_T90	SP