



# MUESTREOS EFICIENTES, OCÉANOS SANOS

AcruxSoft impulsa la transformación digital para una pesca científica con menor impacto ambiental



Elaborado por: Frank Chalkling | Montevideo, Uruguay  
Junio 2025

## ÍNDICE

Introducción.....	2
AcruxSoft.....	3
Buque científico de investigación Humboldt.....	4
Aportes de AcruxSoft en la gestión ambiental.....	5
Análisis del arte de pesca Granton (FAO).....	6
Descripción técnica de aparejo de pesca.....	7
Simulación hidrodinámica del arte de pesca por software TVS.....	8
Evaluación dinámica del despliegue del arte de pesca.....	9
Resistencia de los diferentes componentes del arte de pesca.....	14
Huella ecológica de la exploración marina.....	15
Conclusión final.....	25
Agradecimiento.....	26

## Introducción

Basados en nuestra experiencia, observamos que a nivel global la sostenibilidad de los océanos se ha vuelto una necesidad urgente. En este escenario, los enfoques convencionales de investigación pesquera se enfrentan al reto de transformarse, buscando minimizar su huella sobre los ecosistemas marinos. Si bien los muestreos científicos son esenciales para la evaluación de recursos y la gestión pesquera, no están exentos de generar una huella ambiental que debe ser cuantificada, minimizada y corregida.

En respuesta a esta necesidad, **AcruxSoft SRL** introduce un enfoque transformador basado en la **digitalización** y la **simulación tridimensional** de artes de pesca. Mediante herramientas tecnológicas inéditas como **TrawlVision**, se habilita una nueva forma de optimizar el diseño y la operación de los sistemas de muestreo, permitiendo prever su comportamiento en distintas condiciones, mejorar su eficiencia y reducir significativamente la presión sobre los entornos marinos.

Esta innovación representa una convergencia concreta entre ciencia aplicada, tecnología de vanguardia y compromiso ambiental. Al integrar simulaciones digitales previas a la ejecución en el mar, se disminuye la necesidad de pruebas experimentales invasivas, se mejora la calidad de los datos recolectados y se fortalece la toma de decisiones basada en evidencia técnica verificable. La transformación impulsada por AcruxSoft no solo potencia la eficiencia operativa de los muestreos científicos, sino que abre el camino hacia una **pesca científica más precisa, responsable y respetuosa con los ecosistemas oceánicos**.

En este marco, y a **solicitud del Instituto del Mar del Perú (IMARPE)**, la empresa AcruxSoft presenta el siguiente **informe técnico-científico**, desarrollado con el objetivo de contribuir al fortalecimiento metodológico y operativo de la **campana de evaluación de recursos demersales** a bordo del **Buque de Investigación Científica BIC Humboldt**.

Esta campaña se enmarca en el enfoque de **Evaluación Directa mediante el Método de Área Barrida (Swept Area Method)**, una metodología estandarizada por la **FAO** para la estimación de biomasa y densidad de especies bentónicas y demersales. En esta oportunidad, se emplea una red de arrastre de fondo tipo **Granton 342/140**, clasificada bajo el código **ISSCFG 03.1.2**, conforme a la **Clasificación Internacional Estandarizada de Artes de Pesca (FAO, 1999)**.

Con el fin de maximizar la eficiencia operativa, así como la calidad y confiabilidad de los datos recolectados, se incorpora en esta campaña el software **TrawlVision**, desarrollado por la empresa AcruxSoft. Esta herramienta de simulación avanzada permite modelar, analizar y optimizar el comportamiento hidrodinámico del arte de pesca en diferentes configuraciones y condiciones operativas, brindando soporte técnico de alta precisión para las tareas científicas a bordo.

El presente informe integra un **enfoque analítico riguroso**, sustentado en simulaciones computacionales, modelación hidrodinámica y parámetros operativos clave. Su finalidad es contribuir a la mejora del desempeño del sistema de arrastre, a la eficiencia en la captura de datos biológicos y ecológicos, y al cumplimiento de los principios de **sostenibilidad, selectividad y eficiencia energética** promovidos por la FAO.

## AcruxSoft

**AcruxSoft** es una empresa uruguaya referente en el desarrollo de soluciones tecnológicas innovadoras para el sector pesquero, especializada en consultoría técnica y desarrollo de software aplicado a la pesca sostenible. Su enfoque se basa en una **metodología holística**, que integra ciencia, tecnología y experiencia práctica para abordar los desafíos del sector de forma integral y sostenible.

Desde el año **2012**, AcruxSoft colabora activamente con el **IMARPE** en procesos de investigación aplicada, desarrollo de capacidades técnicas y científicas, y programas de formación en diversas instituciones académicas del Perú, incluyendo la **Universidad Nacional del Callao**, la **UNI**, la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna, San Marcos, Universidad de Piura, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión y la ENAM.

Gracias a su compromiso con la innovación responsable y la protección del medio ambiente, la empresa ha sido reconocida internacionalmente, recibiendo premios en **Suiza** y **Helsinki** por sus contribuciones al desarrollo de tecnologías orientadas a la sostenibilidad ambiental en la industria pesquera.

### Información del Experto | Frank Chalkling

Capitán de pesca egresado de la Universidad del Trabajo del Uruguay con más de 30 años de experiencia, socio fundador de AcruxSoft y creador del software TrawlVision (1998). Desarrolló de forma autodidacta el modelo matemático y la representación gráfica del diseñador de redes, posteriormente optimizado en colaboración con ingenieros de la Universidad de la República (UDELAR).

Entre sus desarrollos más destacados se encuentran:

- **Trawl Vision Mobile (TVM)**: app para pescadores que facilita la gestión en tiempo real.
- **Smart Trawl**: sistema con sensores de fuerza para optimizar la simetría y carga de en la red durante la captura.
- **TVI**: creador de la interfaz de los sensores acústicos **TV80** de **SIMRAD** y adquirida posteriormente por el **grupo Kongsberg**.

### Ha sido distinguido con:

- **Medalla de oro en la Exposición Internacional de Invenciones de Ginebra** por sus aportes al ahorro energético y la protección ambiental.
- **Reconocimiento en Helsinki como una de las Top 50 empresas más innovadoras** (evento INFODEV) por su contribución a la pesca sostenible.

Su trabajo impulsa la **transformación digital y sustentable** del sector pesquero a nivel global.

## Buque de Investigación Científica BIC Humboldt

### Pilar estratégico para la investigación marina del Perú

El Buque de Investigación Científica *Humboldt* constituye una de las principales plataformas oceánicas del Perú para la investigación del medio marino y sus recursos pesqueros. Fue construido en los astilleros de **Servicios Industriales de la Marina (SIMA-PERÚ)** y botado el 13 de octubre de 1978, gracias a un acuerdo de cooperación con el Gobierno de la República Federal de Alemania. Desde entonces, ha sido un instrumento esencial para las operaciones científicas del IMARPE.

Con una eslora de 76,2 metros y capacidad para albergar hasta 100 personas entre tripulación y personal técnico-científico, el *Humboldt* ha sido protagonista de múltiples expediciones científicas, incluyendo varias misiones hacia la Antártida. Por esta razón, su casco fue pintado de rojo para facilitar su visibilidad en ambientes dominados por hielo marino y condiciones extremas.

El buque cuenta con laboratorios especializados, instrumental oceanográfico de última generación, sistemas acústicos de evaluación de recursos y artes de pesca adaptadas tanto a arrastres pelágicos como demersales. Su equipamiento inicial fue posible gracias al apoyo de la **Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)**, entidad alemana que contribuyó significativamente al desarrollo científico-tecnológico del país en el ámbito marino.

### Principales actividades científicas desarrolladas a bordo

El **BIC Humboldt** ha sido fundamental en el avance del conocimiento oceanográfico y pesquero del Perú, facilitando investigaciones que respaldan políticas de manejo sostenible de los recursos marinos. Entre las principales actividades que se llevan a cabo a bordo, se destacan:

1. **Evaluación de la biomasa de recursos pesqueros**, a través de campañas acústicas, muestreos biológicos y análisis de distribución espacial de las principales especies objetivo.
2. **Exploración de recursos marinos potenciales**, incluyendo zonas profundas o subexploradas del litoral peruano, con el fin de identificar nuevas especies de valor comercial y evaluar su potencial de aprovechamiento sostenible.
3. **Monitoreo oceanográfico integral**, mediante el registro continuo de variables físicas, químicas y biológicas del ecosistema marino, lo que permite comprender mejor su dinámica y funcionamiento.
4. **Investigación aplicada a tecnologías pesqueras**, enfocada en mejorar estrategias de captura, optimizar el diseño de artes de pesca, evaluar su selectividad y reducir impactos no deseados sobre el ecosistema.
5. **Estudios sobre el cambio climático y su impacto en el ambiente marino**, incluyendo investigaciones vinculadas a eventos como **El Niño** y **La Niña**, y su efecto en la distribución y abundancia de especies comerciales.
6. **Caracterización biológica y ecológica de especies marinas**, mediante estudios sobre su ciclo de vida, reproducción, alimentación, patrones migratorios y estructura poblacional.

## AcruxSoft y su aporte tecnológico en la investigación y gestión pesquera

La incorporación del software **TrawlVision** en las campañas científicas representa una **innovación significativa** en los métodos de apoyo a la investigación científica pesquera. Esta herramienta avanzada permite **simular en tres dimensiones el comportamiento de las redes de arrastre** bajo condiciones operativas reales, modelando su apertura, capacidad de filtración y eficiencia en función de parámetros clave como la velocidad de remolque, la profundidad, la resistencia y la configuración del tren de arrastre.

El uso de simulación computacional no solo **optimiza la planificación y ejecución de campañas de investigación**, sino que también **reduce considerablemente la dependencia de pruebas empíricas** en el mar, las cuales suelen ser costosas, logísticamente complejas y conllevan riesgos operativos.

Además, este enfoque innovador refleja un **compromiso claro con la sostenibilidad ambiental**: al minimizar la cantidad de maniobras de prueba innecesarias, se reduce la huella ecológica de las operaciones científicas y se promueve un uso más responsable de los recursos marinos. TrawlVision permite así **mejorar la eficiencia técnica del proceso investigativo** sin comprometer el equilibrio del ecosistema, alineándose con las **buenas prácticas de pesca responsable y con los principios de conservación marina**.

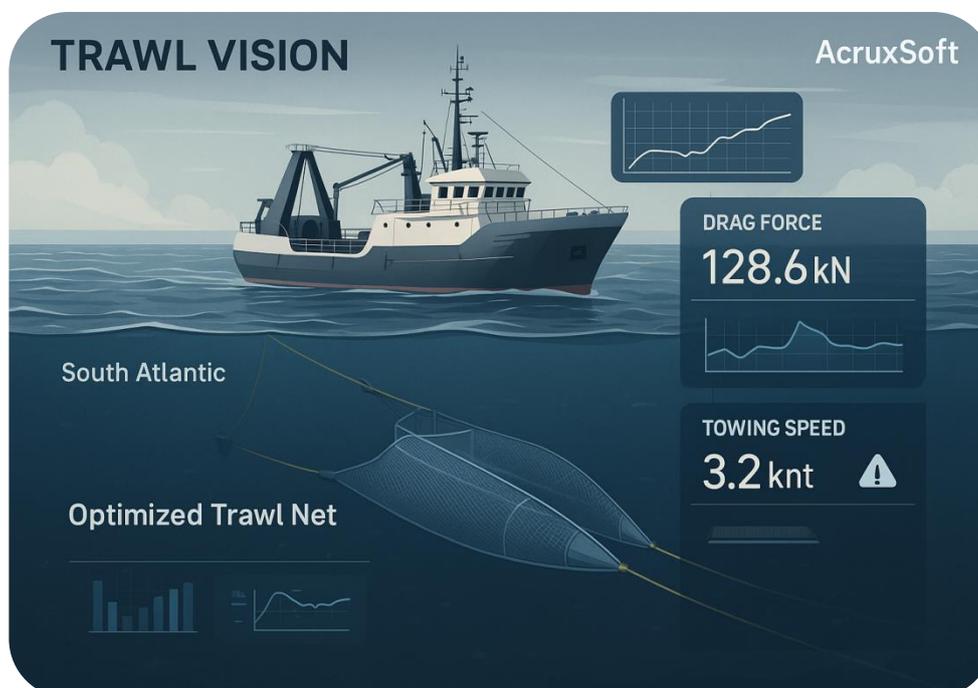


Imagen 1 - Software Trawl Vision (AcruxSoft)

## Arte de Pesca Científica: Red de Arrastre de Fondo Demersales Granton 342/140

### Aplicación en campañas de evaluación directa del recurso merluza (*Merluccius gayi peruanus*)

En el marco de las campañas científicas realizadas por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE), se emplea el arte de pesca **Red de Arrastre de Fondo Demersales tipo Granton 342/140**, para la aplicación del método de **Evaluación Directa por Área Barrida** (Swept Area Method), técnica estandarizada por la FAO para la estimación de biomasa y densidad de especies demersales. La información del arte de pesca fue aportada por el Ing. Julio Alarcon.

#### Características técnicas del arte de pesca

- Diámetro del cable remolque **28 mm**.
- Tipo de red: **Red de arrastre de fondo de dos paños (superior e inferior)** fabricada en poliamida (PA).
- Código ISSCFG FAO: **03.1.2 (OTB-2)**, conforme a la Clasificación Internacional Estandarizada de Artes de Pesca (FAO, 1999).
- Abertura horizontal de alas por diseño (APA): **15,4 metros**.
- Ángulo de ataque: **9 °**.
- Abertura vertical (altura de boca): **3,5 metros**.
- Tamaño de malla en el copo: **90 mm**.
- Longitud total de la red: **51,98 metros**.
- Longitud del copo: **8,61 metros**.

#### Tren de arrastre y accesorios

El tren de arrastre utilizado para esta red presenta una masa total aproximada de **978,24 kg**, incluyendo:

- **Bobinas de neopreno:** múltiples unidades de alta resistencia (20–22 mm Ø, 175 mm de diámetro).
- **Lankaster, platinas, grilletes dobles y cadenas** distribuidos en configuración central y en las alas de la red.
- **Cadena de arrastre:** segmentos de 4,00 m y 5,80 m con calibres de 18 mm y 3/4".
- **Cables de acero galvanizado tipo 6x19 y 6x24+1 con alma textil**, confeccionados en longitudes de hasta 80 metros, incluyendo bridas, malletas tipo "pata de gallo" y falsa boza.
- **Flotadores:** 56 unidades de 240 mm de diámetro, ubicados en la relinga superior.

#### Distribución de componentes estructurales (resumen de pesos)

- **Centro del tren de arrastre:** 154,8 kg.
- **Relinga inferior en las alas:** 483,64 kg.
- **Componentes libres y adicionales:** 339,8 kg.
- **Peso total estimado del tren de arrastre:** 978,24 kg.

## Consideraciones operativas | Descripción técnica del aparejo de pesca

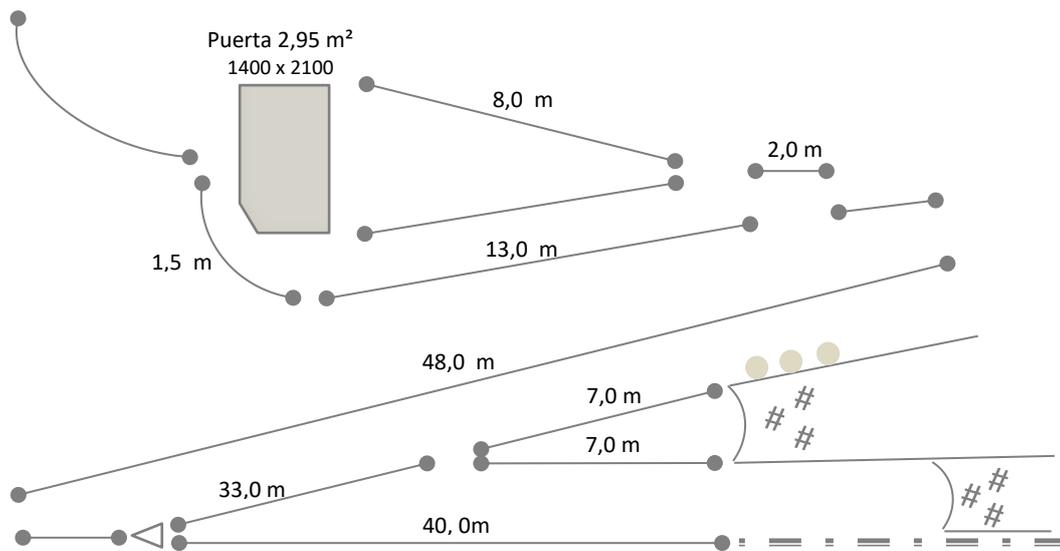


Imagen 2 - Aparejo de B/C Humboldt (Frank Chalkling)

### Ingreso del diseño de la red al software Trawl Vision Designer

Esta red fue diseñada específicamente para investigaciones científicas dirigidas al recurso **merluza** en el ecosistema demersal del Pacífico Sudeste. La configuración busca garantizar:



Imagen 3 – (Frank Chalkling) *AcruxSoft*

**Estabilidad hidrodinámica** del aparejo, esencial para mantener la geometría operativa constante bajo distintas condiciones de navegación.

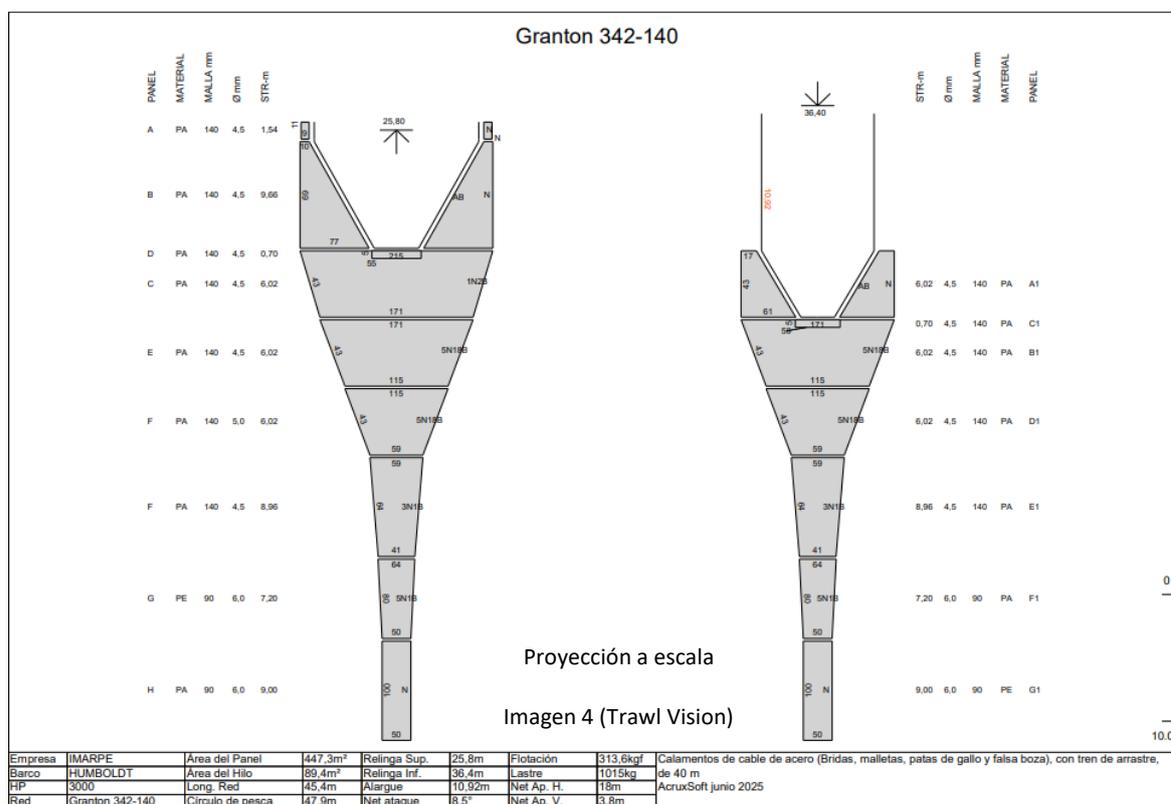
**Abertura óptima** del sistema de pesca, especialmente relevante para lograr capturas estandarizadas y comparables en estudios científicos o monitoreos poblacionales.

**Compatibilidad con sistemas de medición acústica** y sensores científicos, lo que permite integrar tecnologías de observación avanzadas para mejorar la interpretación de los datos recolectados.

**Minimización del impacto sobre el hábitat bentónico**, en concordancia con los lineamientos de pesca responsable promovidos por organismos internacionales como la FAO y el ICES.

## Simulación hidrodinámica y resultados operativos generados por TrawlVision

Primeramente se ingresa la red al software Trawl Vision Designer – Imagen 4



### Resultados del análisis hidrodinámico generados mediante el software TVS

A partir de la caracterización técnica y la simulación computacional del arte de pesca, se obtuvieron una serie de **parámetros clave que describen su comportamiento hidrodinámico y operativo** bajo distintas condiciones de arrastre. Estos resultados permiten evaluar la eficiencia estructural del sistema, identificar posibles puntos críticos de desempeño y proponer ajustes orientados a mejorar su rendimiento en campañas científicas o faenas comerciales.

#### Resultados estructurales de la red:

- Área total de los paños de red = **447,28 m<sup>2</sup>**
- Superficie sólida proyectada = **89,36 m<sup>2</sup>**
- Perímetro del círculo de pesca = **47,88 m**
- Ángulo de ataque de la red según diseño = **8,5°**
- Peso total estimado del total de los paños de la red y copo = **313,6 kg**
- Peso de tren (1015 kg) + paños de red (313,6 kg) = **1328,6 kg**
- Círculo de pesca = **47,9 m**
- Ángulo de ataque de la red promedio = **8,5°**
- Diámetro medio del hilo = **4,93 mm**
- Longitud media de la malla = **126,65 mm**
- **Índice de filtración ≈ 0,0393 (baja filtración por hilos muy gruesos).**

Uno de los resultados importantes que proporciona el software es el **índice de filtración de las mallas**, calculado a partir de variables como el diámetro del hilo / la longitud de las mallas. Este parámetro permite estimar la eficiencia con la que el agua atraviesa el sistema de red durante la operación de arrastre, y está directamente relacionado con la **resistencia del aparejo**.

Se trata de un indicador fundamental del **rendimiento hidrodinámico**, ya que influye directamente en la **resistencia al avance** y, en consecuencia, en el **consumo energético** del sistema. **Observamos una red fuera de los parámetros de eficiencia operativa debido al grosor y material de los hilos utilizados.**

La tabla 1 presenta los resultados por sección de paños de la red:

PANEL	MATERIAL	RUNNAGE	MALLA [mm]	DIAMETRO [mm]	LARGO DEL HILO [m]	INDICE de FILTRACIÓN	PESO del sin NUDOS [Kg]	AREA HILO sin NUDOS [m²]	PESO del con NUDOS [Kg]	AREA HILO con NUDOS [m²]	AREA TRABAJO [m²]
Vista superior											
A	PA	115	140	4,50	28	0,0321	0,48	0,25	0,79	0,38	1,69
B	PA	115	140	4,50	840	0,0321	14,62	7,56	23,90	11,45	51,18
C	PA	115	140	4,50	2324	0,0321	20,21	10,46	33,05	15,63	70,76
D	PA	115	140	4,50	77	0,0321	0,67	0,35	1,10	0,52	2,34
E	PA	115	140	4,50	1722	0,0321	14,97	7,75	24,48	11,73	52,43
F	PA	115	140	4,50	896	0,0321	7,79	4,03	12,74	6,11	27,28
F	PA	115	140	5,00	1047	0,0357	9,11	5,24	15,46	8,23	31,90
G	PE	62	90	6,00	821	0,0667	13,24	4,92	29,55	10,18	16,07
H	PA	45	90	6,00	900	0,0667	20,00	5,40	44,64	11,16	17,62
Vista inferior											
A1	PA	115	140	4,50	470	0,0321	8,17	4,23	13,36	6,40	28,60
B1	PA	115	140	4,50	1722	0,0321	14,97	7,75	24,48	11,73	52,43
C1	PA	115	140	4,50	70	0,0321	0,61	0,32	1,00	0,48	2,13
D1	PA	115	140	4,50	1047	0,0321	9,11	4,71	14,90	7,14	31,90
E1	PA	115	140	4,50	896	0,0321	7,79	4,03	12,74	6,11	27,28
F1	PA	62	90	6,00	821	0,0667	13,24	4,92	29,55	10,18	16,07
G1	PE	45	90	6,00	900	0,0667	20,00	5,40	44,64	11,16	17,62
			SUPERFICIE SÓLIDA sin NUDOS [m²]	PESO sin NUDOS [kg]					SUPERFICIE SÓLIDA con NUDOS [m²]	PESO del PANEL con NUDOS [kg]	
PANELES SUPERIORES			45,96	101,08		PANELES SUPERIORES			75,60	185,71	
PANELES INFERIORES			31,36	73,88		PANELES INFERIORES			53,19	140,66	
TOTAL			77,32	174,97		TOTAL			128,79	326,37	

Tabla 1

## Evaluación de la dinámica operacional del sistema mediante simulación por TVS



Imagen 5 – Simulación del sistema de pesca (TVS)

La simulación computacional mediante el TVS del sistema de arrastre permitió realizar una evaluación detallada de su dinámica operacional en condiciones controladas, representando distintos escenarios de velocidad, profundidad y configuración estructural.

Para elaborar este análisis, se calcularon las resistencias siguiendo las recomendaciones del ICES (1982) para velocidades de entre 1 y 5 nudos.

Esta metodología ofrece una visión tridimensional del comportamiento del arte de pesca, posibilitando el análisis de variables como apertura horizontal y vertical, volumen de agua filtrada, resistencia hidrodinámica y eficiencia de captura potencial.

Para la simulación se consideró una profundidad media de 173 metros en el área de trabajo, y una longitud de cable de remolque de 392 metros, calculada en función de los 73 lances realizados durante la campaña.

## Resultados numéricos obtenidos mediante simulación computacional

La tabla 2 integra la relación entre la velocidad de remolque, la respuesta dinámica del aparejo y la distribución de fuerzas de resistencia en el sistema de arrastre.

Velocidad (nudos)	Apertura vertical (m)	Apertura horizontal (m)	Volumen filtrado (m <sup>3</sup> /s)	Área arrastrada (m <sup>2</sup> )	Res. total (Kgf)	Ángulo red (°)
1.0	6.1	5.2	12.1	1307.9	1709.2	3.3
1.5	5.7	8.9	29.5	2228.5	2104.8	5.7
2.0	5.4	11.8	49.2	2946.2	2665.7	7.6
2.5	5.0	13.9	67.8	3475.4	3401.3	9.0
3.0	4.4	15.6	80.1	3872.7	4316.9	10.1
3.5	4.0	16.9	90.0	4182.5	5414.9	10.9
4.0	3.3	17.9	89.9	4428.3	6700.8	11.6
4.5	2.6	18.7	84.1	4627.3	8179.0	12.2
5.0	1.9	19.5	72.4	4791.8	9853.3	12.6

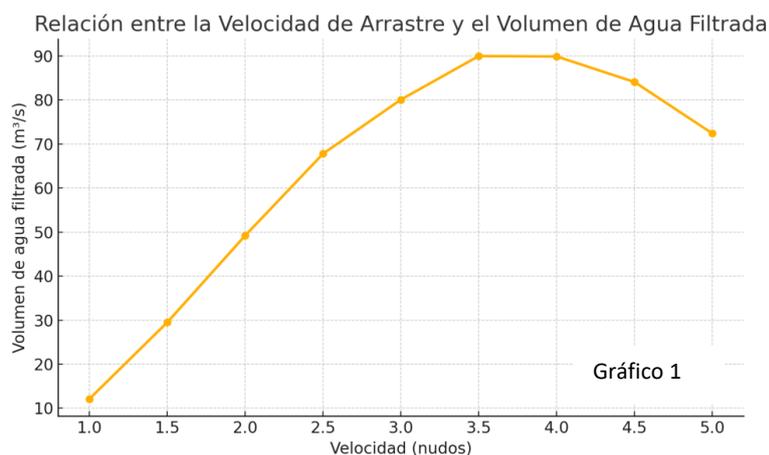
Tabla 2 – Resultados de la simulación por el software TVS

Según lo observado y señalado en **color verde**, se determina que a una velocidad de 3,5 nudos se alcanza el despliegue más eficiente del sistema de pesca analizado. Esta eficiencia se debe a que el "volumen de agua filtrada" alcanza su valor máximo, lo que indica un óptimo rendimiento del arte de pesca en términos de cobertura del medio acuático, filtración y **utilización de la energía óptima para el arrastre**.

### Definición del volumen de agua filtrada

El **volumen de agua filtrada** representa la cantidad total de agua que pasa a través del área efectiva de apertura del arte de pesca durante un intervalo de tiempo determinado. Este volumen se calcula considerando la abertura horizontal (en metros), la abertura vertical (en metros) y la velocidad de arrastre (en metros por segundo).

Este parámetro es fundamental para evaluar la "eficiencia técnica" o operativa del sistema de pesca, ya que un mayor volumen de agua filtrada implica una mayor cobertura de la columna de agua, lo que incrementa la probabilidad de contacto con los organismos objetivo.



### Descripción del gráfico 1:

- El eje **horizontal (X)** representa la **velocidad de arrastre** en nudos.
- El eje **vertical (Y)** muestra el **volumen de agua filtrada** en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ).
- La curva muestra cómo varía el volumen de agua que atraviesa el arte de pesca a diferentes velocidades.

### Análisis técnico

#### 1. Crecimiento inicial (1.0 – 3.5 nudos):

- El volumen de agua filtrada **aumenta de forma acelerada** con la velocidad.
- Este comportamiento es típico de un sistema en el que la apertura horizontal se expande progresivamente y el flujo frontal es mayor.
- El arte de pesca está funcionando de forma eficiente dentro de este rango.

#### 2. Pico de rendimiento (3.5 – 4.0 nudos):

- Se alcanza el **máximo volumen filtrado ( $\sim 98 m^3/s$ )** entre 3.5 y 4.0 nudos.
- Este punto representa la **velocidad óptima de eficiencia hidráulica** para este diseño, donde el balance entre resistencia, apertura y flujo es más favorable.

#### 3. Caída del rendimiento (4.5 – 5.0 nudos):

- A partir de 4.0 nudos, el volumen comienza a **disminuir** a pesar del aumento de la velocidad.
- Esto sugiere un **colapso parcial de la red**, probablemente por:
  - Exceso de tensión en los paños.
  - Reducción de la apertura vertical.
  - Pérdida de forma del cuerpo de red y disminución del área efectiva de filtrado.
- **Comportamiento de las boyas hidrostáticas**, a medida que aumenta la velocidad de arrastre, las boyas hidrostáticas tienden a **perder capacidad de sustentación vertical** debido al incremento de la fuerza de arrastre y al cambio en el ángulo de ataque.

**Aplicación práctica:** Esta relación es esencial para la planificación de estrategias de muestreos científicos ya que permite:

- Estimar el rendimiento hidráulico del sistema.
- Evaluar la eficiencia energética en función del volumen capturado por unidad de esfuerzo.
- Localizar la velocidad correcta para un despliegue eficiente de acuerdo al sistema de arrastre seleccionado.

## Relación dinámica entre la apertura horizontal y vertical de la red de arrastre

El comportamiento tridimensional del arte de arrastre durante la operación está condicionado por múltiples factores hidrodinámicos, siendo la velocidad de remolque uno de los más determinantes. En particular, la relación entre la apertura horizontal y vertical de la red refleja la eficiencia estructural y funcional del aparejo frente al flujo de agua.

A medida que se incrementa la velocidad, suelen manifestarse **tensiones asimétricas** en los puntos de tracción, lo que puede provocar una **expansión lateral** del sistema en detrimento de su **altura vertical**. Este fenómeno afecta directamente el área efectiva de filtrado y, por tanto, la capacidad de captura del arte, especialmente en especies distribuidas a diferentes profundidades de la columna de agua.

El gráfico 2 representa la **relación dinámica entre la apertura horizontal y vertical** del sistema de arrastre. Este análisis permite identificar el **rango óptimo de operación**, detectar posibles **deformaciones estructurales** no deseadas y sustentar decisiones técnicas clave sobre el diseño y la configuración del arte de pesca —incluyendo redes, puertas y elementos de sustentación— con el objetivo de alcanzar un **muestreo más eficiente y representativo**.

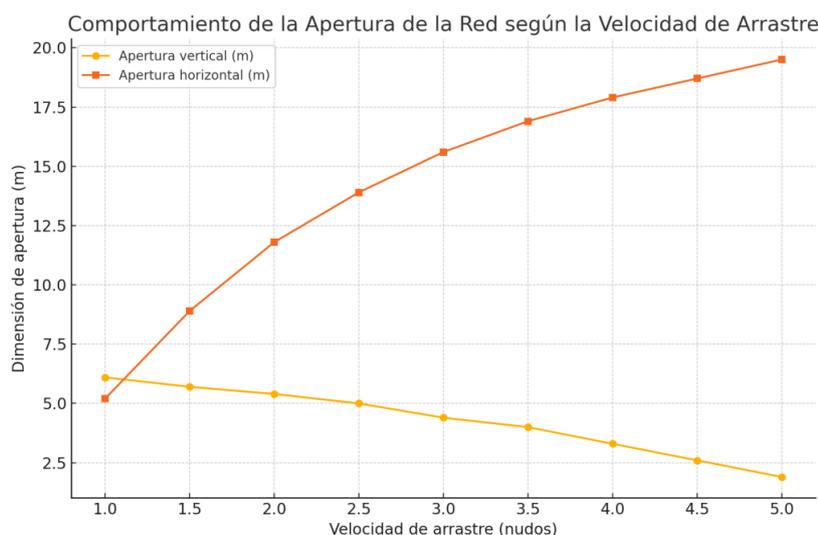


Gráfico 2

### Análisis técnico desde la perspectiva:

- **Apertura vertical (curva amarilla):** disminuye progresivamente con el aumento de la velocidad. Este comportamiento indica una **pérdida de altura de la boca de la red**, lo cual puede deberse al incremento de la tensión en los brazos y la dinámica hidrodinámica que tiende a cerrar verticalmente la red en velocidades altas.
- **Apertura horizontal (curva naranja):** aumenta de manera sostenida con la velocidad, alcanzando su máximo en 5 nudos. Este resultado sugiere que las **fuerzas laterales del sistema (como las puertas o divergentes)** logran un

mayor distanciamiento a mayor velocidad, pero esto **no compensa la pérdida vertical**, lo cual puede afectar negativamente la eficiencia de captura en especies que ocupan columnas de agua más altas.

### Conclusión técnica:

A velocidades superiores a 3,5 nudos se observa un **compromiso crítico** entre la apertura horizontal ganada y la apertura vertical perdida. El sistema podría estar operando fuera de su rango de diseño ideal, y sería recomendable ajustar la configuración del aparejo (puertas, flotación, lastre o tipo de bridas) para **maximizar el área efectiva de filtrado**, especialmente si el objetivo son especies pelágicas o de columna media.

### Velocidad ideal para un despliegue eficaz del sistema de pesca

Grafica determinada por el TVS, interpretando la dinámica del aparejo y la eficiencia técnica en fusión a la velocidad de arrastre.

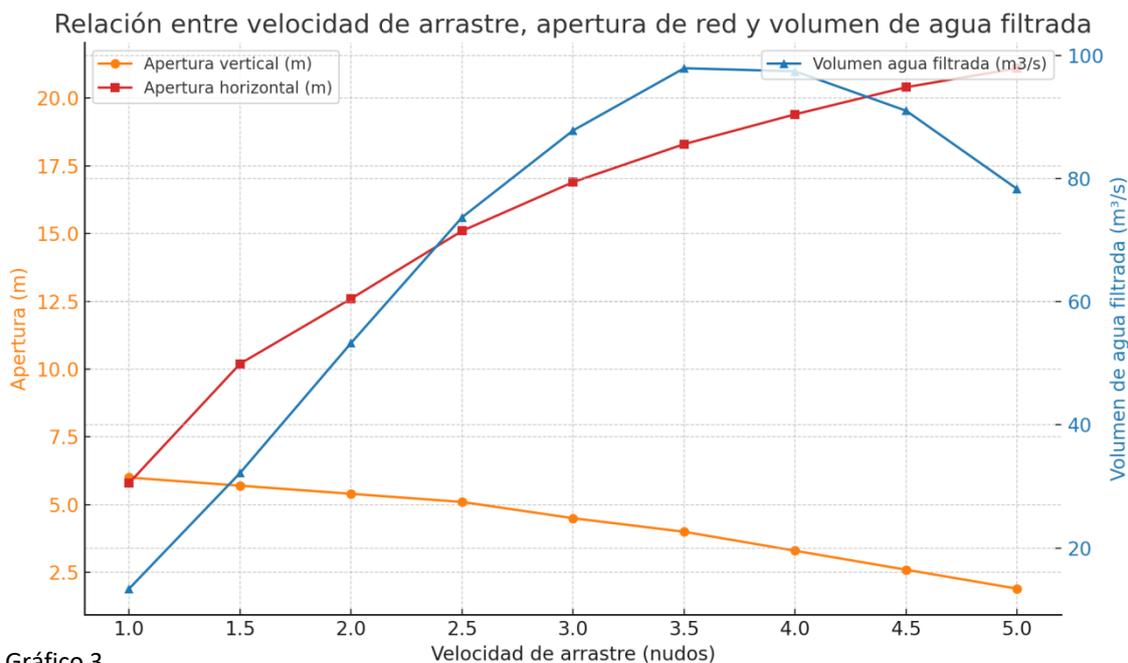


Gráfico 3

Al analizar la relación entre la velocidad de arrastre y los parámetros operativos del arte de pesca el *software TVS*, presenta una dinámica clara en las tres variables evaluadas. A medida que la velocidad incrementa, **la apertura horizontal de la red tiende a aumentar de forma constante, mientras que la apertura vertical muestra una reducción progresiva**. Este comportamiento sugiere una deformación estructural del sistema a velocidades más altas, en donde la red tiende a aplanarse.

Por otro lado, **el volumen de agua filtrada crece significativamente hasta alcanzar su punto máximo entre los 3,5 y 4 nudos**, indicando una zona de eficiencia operativa óptima a 3,5 nudos con una apertura vertical de 4 metros y una horizontal de 16,9 metros entre puntas de alas. A partir de ese punto, pese a que la apertura horizontal

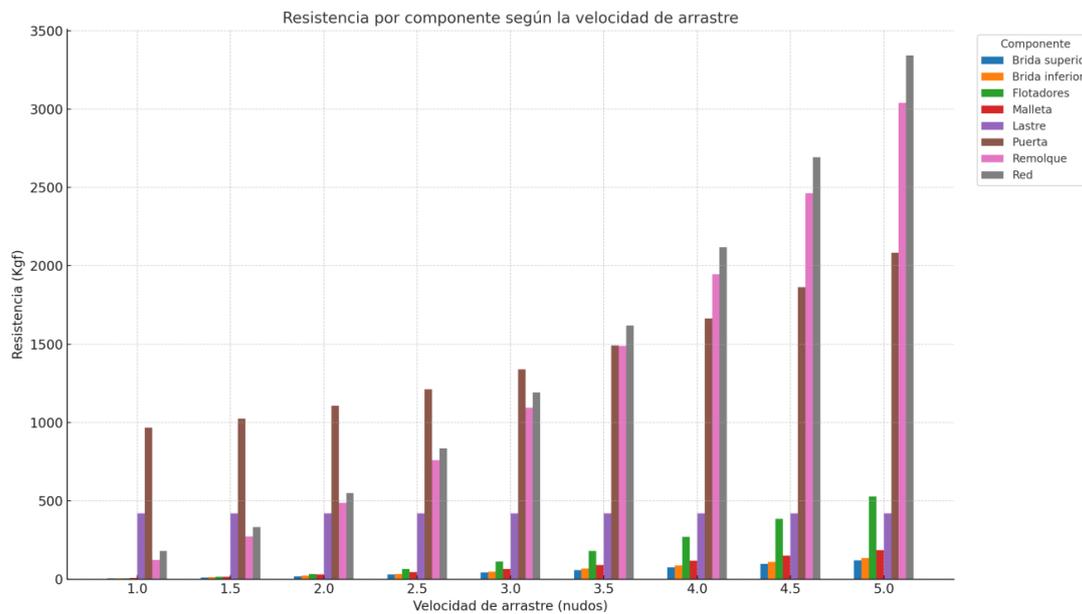
sigue ampliándose, el volumen de agua comienza a disminuir, probablemente debido a la pérdida de altura útil de la red y una menor capacidad de captura efectiva.

Este análisis a partir del Trawl Vision, permite reconocer un punto de equilibrio operativo entre la velocidad de arrastre, la geometría del arte de pesca y su comportamiento hidrodinámico. Este balance es crucial para orientar decisiones técnicas que apunten a mejorar la eficiencia del sistema y control sobre el uso de la energía y emisiones de CO<sub>2</sub>.

**A partir de estos datos, es posible proyectar con mayor precisión las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), facilitando así una evaluación integral del rendimiento energético y de las implicancias ambientales del sistema de pesca.**

### Incremento De La Resistencia Del Arte De Arrastre Con La Velocidad

La gráfica muestra la evolución de la resistencia en cada componente del aparejo en función del aumento de velocidad.



Gráfica 4

#### Síntesis de la gráfica 4

La gráfica presenta cómo varía la resistencia (Kgf) de cada componente del sistema de arrastre a medida que aumenta la velocidad de remolque, desde 1 hasta 5 nudos. Se observa un crecimiento progresivo de la resistencia total, con una distribución desigual entre los distintos elementos del aparejo.

#### Hallazgos técnicos destacados

##### 1. Incremento exponencial de la resistencia total

El aumento de la velocidad produce un crecimiento marcado de la resistencia, particularmente a partir de los 3 nudos. Este comportamiento es coherente con

la teoría hidrodinámica, donde la resistencia al avance crece con el cuadrado de la velocidad.

## 2. Red como componente crítico a altas velocidades

A partir de los **3,5 nudos**, la resistencia generada por la red supera al resto de los elementos, convirtiéndose en el principal factor de carga del sistema. Esto sugiere deformaciones significativas del cuerpo de red y un aumento considerable de la fricción superficial, lo cual afecta negativamente la eficiencia del sistema.

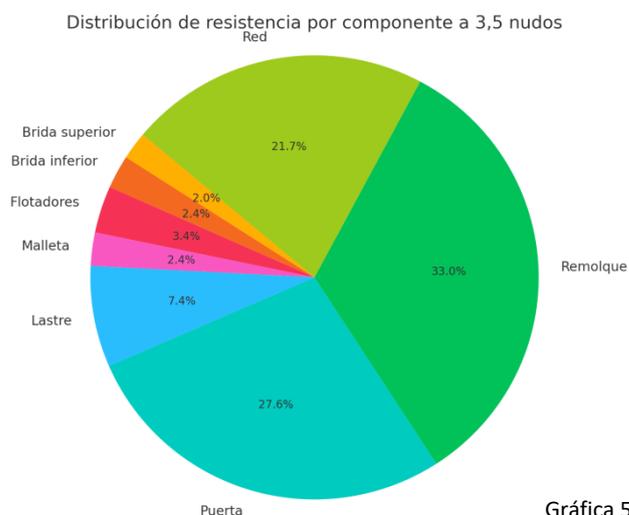
## 3. Lastre y puertas: carga constante y elevada

Tanto el lastre como las puertas mantienen una participación alta y constante a lo largo de todo el rango de velocidades. Son responsables de una gran parte del esfuerzo que debe vencer el buque, por lo que su diseño y peso deben ser optimizados.

## 4. Contribución progresiva de componentes secundarios

Malletas, flotadores y bridas presentan una resistencia creciente, aunque en menor proporción. Sin embargo, su acumulación cobra relevancia en el análisis energético total del sistema.

### Descomposición de los elementos de resistencia a la velocidad óptima de 3,5 nudos



El análisis evidencia que, a la velocidad óptima de 3,5 nudos, los principales responsables de la resistencia total son:

- Remolque (33%)
- Puerta (27,6%)
- Red (21,7%)

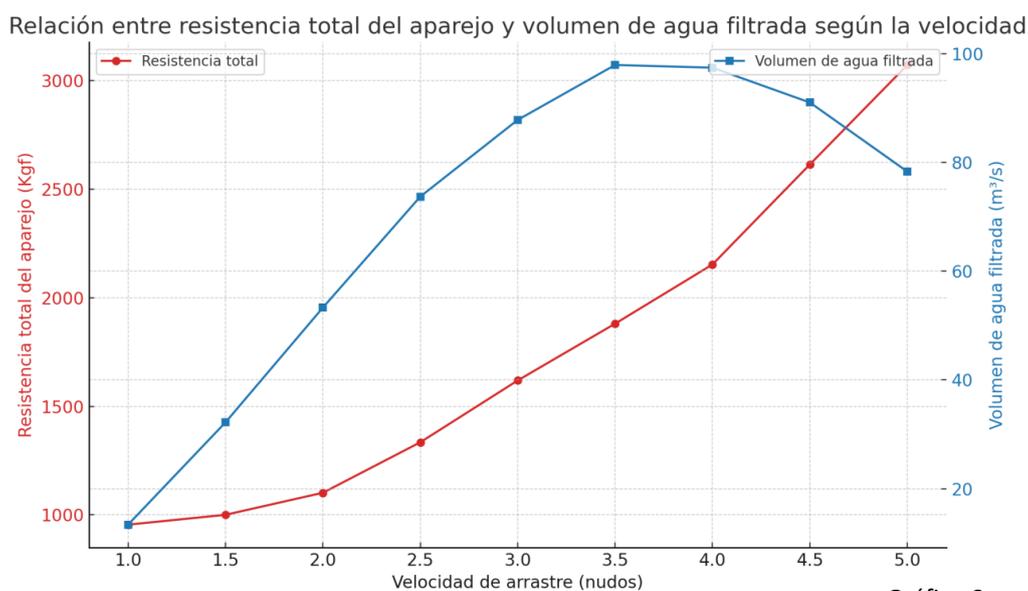
### Conclusiones operativas en base a la representación de la gráfica 5

- De acuerdo a nuestra experiencia en sistemas de arrastre, **identificamos que la resistencia generada por el cable de remolque es excesiva**. Esta situación se debe a una desproporción entre las dimensiones del cable y el tamaño del aparejo que debe remolcar. En particular, el cable utilizado presenta un diámetro mayor al necesario, lo que incrementa la fricción con el agua y añade una carga innecesaria al sistema. Esta sobredimensión afecta directamente la eficiencia operativa, elevando el consumo energético y reduciendo el rendimiento global del conjunto.
- La **velocidad óptima** de arrastre debe encontrarse antes del punto donde la resistencia de la red se vuelve dominante.

- **Superar los 3,5 nudos** implica un incremento desproporcionado del esfuerzo de remolque, elevando el consumo de combustible y las emisiones.
- Este tipo de análisis es fundamental para ajustar el diseño del arte de pesca, dimensionar motores y definir estrategias operativas más eficientes y sostenibles.

### Relación entre la resistencia del aparejo y la eficiencia técnica o volumen de agua filtrada

En la siguiente grafica analizamos la resistencia total del sistema de captura y el punto óptimo de la eficiencia técnica de la red o volumen de agua filtrada.



En la gráfica 6 se presentan dos variables fundamentales para evaluar el desempeño del sistema de arrastre:

- **La resistencia total del aparejo**, representada en el eje izquierdo en color rojo (Kg)
- **El volumen de agua filtrada**, indicado en el eje derecho en azul (m³/s)

### Comportamiento de la resistencia total

A medida que la velocidad de arrastre aumenta, la resistencia del aparejo también lo hace de forma progresiva. Esta tendencia es claramente ascendente y se intensifica a partir de los **3,5 nudos**, donde la pendiente de crecimiento se vuelve más pronunciada. Este comportamiento no es lineal y responde a las características propias del arrastre en medios fluidos, lo cual implica un aumento considerable del esfuerzo requerido por el motor y, por consiguiente, del consumo energético.

## Dinámica del volumen de agua filtrada

Por otro lado, el volumen de agua que filtra el arte de pesca aumenta progresivamente con la velocidad de remolque, alcanzando un valor máximo cercano a **los 97 m<sup>3</sup>/s en el rango comprendido entre los 3,5 y 4 nudos**. Luego de este punto, comienza a descender gradualmente, pese a que la velocidad sigue incrementándose. Esta caída en el rendimiento puede estar asociada a deformaciones en la geometría de la red o a la aparición de turbulencias internas que reducen la eficiencia del flujo.

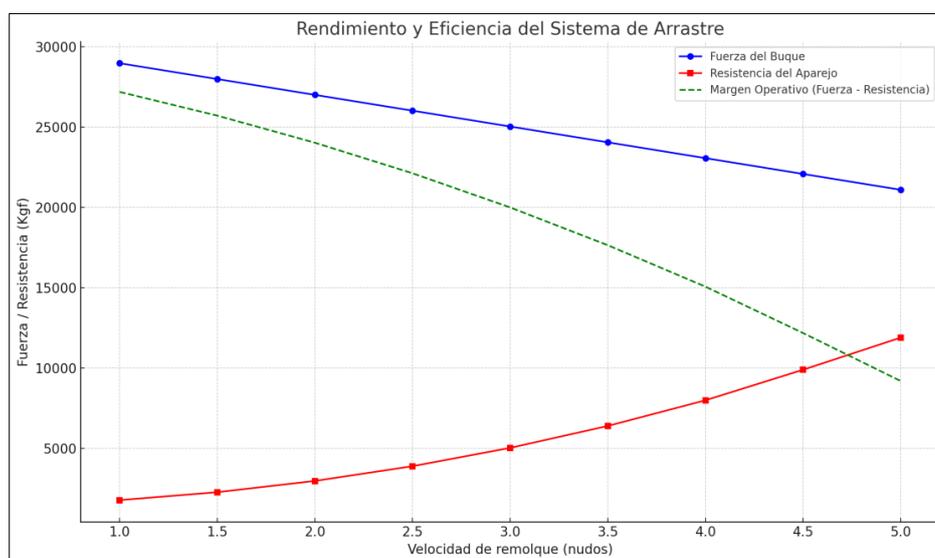
## Velocidad óptima de operación

El análisis cruzado de ambas curvas **permite identificar un rango de velocidad óptimo entre 3 y 3,5 nudos**, donde se alcanza el mayor volumen de agua filtrada sin que la resistencia total supere aún niveles críticos. Más allá de este rango, el esfuerzo del sistema se incrementa **bruscamente sin una ganancia proporcional en el rendimiento del arte de pesca**.

## Evaluación Integrada de la Capacidad Propulsiva del Buque Científico Humboldt y la Resistencia del Arte de Pesca mediante el software Trawl Vision

En este punto se analiza la **fuerza de arrastre disponible del buque científico Humboldt**, teniendo en cuenta sus características de propulsión, que incluyen **doble hélice** y una **potencia nominal de 3000 HP**. El análisis se basa en los resultados obtenidos a través del software **Trawl Vision**, que permite vincular de forma precisa la **resistencia generada por el arte de pesca** con la **capacidad propulsiva del buque**.

Esta comparación resulta fundamental para determinar si la energía disponible es suficiente, excedente o insuficiente para arrastrar de manera eficiente el sistema de pesca evaluado. De esta forma, se identifican los rangos de operación óptimos, se evitan sobrecargas innecesarias y se promueve un uso más racional del combustible, contribuyendo así a una **operación científica más segura, eficiente y sustentable**.



Gráfica 7

La **gráfica 7** titulada “**Rendimiento y Eficiencia del Sistema de Arrastre**” muestra la relación entre la **velocidad de remolque** (eje horizontal, en nudos) y tres variables clave (eje vertical, en Kgf):

- **Fuerza del buque (línea azul)**
- **Resistencia del aparejo (línea roja)**
- **Margen operativo (línea verde punteada), que representa la diferencia entre la fuerza disponible del buque y la resistencia del arte de pesca.**

#### Análisis técnico:

1. **Fuerza del buque (azul)**  
Disminuye progresivamente con el aumento de la velocidad de remolque. Esto es típico en sistemas propulsivos, ya que a mayores velocidades se incrementa la carga hidrodinámica, lo que reduce la fuerza efectiva disponible para el arrastre.
2. **Resistencia del aparejo (rojo)**  
Aumenta de forma no lineal con la velocidad. Este comportamiento es esperable, ya que la resistencia hidrodinámica crece exponencialmente con la velocidad en fluidos.
3. **Margen operativo (verde punteada)**  
Representa la capacidad real del buque para remolcar el aparejo con seguridad y eficiencia. Se observa una **reducción constante del margen operativo** a medida que aumenta la velocidad.
4. A partir de los **4,5 nudos**, el margen se vuelve crítico, y a los **5 nudos**, la **resistencia supera el empuje disponible del buque**, lo que indica un **punto de colapso operativo**.

#### Conclusiones operativas:

- **Velocidad óptima sugerida:** El análisis sugiere que el **rango operativo seguro se encuentra por debajo de los 4,5 nudos**, donde el margen de fuerza es aún positivo. El **punto óptimo de operación** parece estar entre **2,5 y 3,5 nudos**, donde se logra un buen equilibrio entre velocidad, eficiencia y seguridad.
- Superar los **4,2–4,5 nudos** podría llevar al sistema a un **punto crítico**, donde el rendimiento cae y el riesgo se eleva considerablemente.

**TrawlVision:** Con una precisión analítica excepcional y un enfoque predictivo avanzado, **Trawl Vision** se posiciona como una herramienta clave para optimizar las operaciones de arrastre. Su tecnología permite **anticipar zonas de mayor esfuerzo, ajustar de forma precisa la velocidad de remolque y maximizar el rendimiento del arte de pesca**, logrando una reducción significativa del consumo energético y una mayor eficiencia operativa.

## Análisis del Impacto de las Emisiones Atmosféricas del Buque Científico *Humboldt*



Parte de este trabajo integra un análisis crítico y propositivo sobre un aspecto históricamente poco visibilizado en las campañas científicas en el mar: **la huella ambiental de los propios buques de investigación, en particular las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)** generadas durante las expediciones oceanográficas.

A modo de estudio, el grupo AcruxSoft tomó como ejemplo al buque científico *Humboldt*, considerado una unidad de referencia a nivel internacional en investigaciones marinas, para evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de su consumo diario de combustible durante una campaña de prospección.

En un contexto global donde el uso de fuentes energéticas fósiles se encuentra cada vez más regulado mediante estándares internacionales que clasifican tanto el consumo como el impacto ambiental asociado, se vuelve imprescindible incorporar estas variables en la evaluación de las actividades científicas en el mar. El conocimiento riguroso de la demanda energética requerida para una campaña y su correspondiente huella ambiental constituye un paso fundamental hacia una ciencia oceánica alineada con los principios de sostenibilidad y responsabilidad ecológica.

Desde una perspectiva ecosistémica y bajo una lógica de compromiso ambiental, sostenemos que la operación de buques científicos debe orientarse a minimizar su impacto ecológico. Esto exige integrar, desde las etapas iniciales de planificación, criterios que prioricen la eficiencia energética, reduzcan las emisiones contaminantes y garanticen la compatibilidad entre la exploración científica y la conservación activa del medio marino.

Más allá de los indicadores técnicos, este estudio pretende abrir un camino de reflexión y acción concreta frente a un aspecto frecuentemente invisibilizado: la huella ambiental de las propias plataformas científicas.

**En AcruxSoft entendemos que la exploración del océano no debe comprometer su equilibrio ecológico, y que la ciencia del futuro debe concebirse bajo un enfoque integral de sostenibilidad. Esto implica repensar de manera profunda el diseño de los artes de pesca, la arquitectura de los sistemas de muestreo y la planificación energética de cada unidad de investigación que opera en nuestros mares. Asimismo, consideramos prioritario avanzar hacia la transformación de los buques científicos, promoviendo el reemplazo progresivo de sistemas de propulsión convencionales por tecnologías más limpias, como la propulsión eléctrica, que permitan reducir significativamente las emisiones y el impacto ambiental de las operaciones científicas en el mar.**

## Evaluación del impacto ambiental

En base a los datos suministrados desde el buque científico Humboldt pudimos estimar los siguientes resultados.

### Datos operativos reportados desde el buque de investigación:

- **Potencia instalada:** 3.000 HP
- **Consumo diario de combustible:** aproximadamente 1.300 galones
- **Duración total del crucero:** 25 días
- **Tiempo promedio por lance:** 30 minutos
- **Número de lances:** 73

### Datos procesados por el Software Trawl Vision

- **Área arrastrada promedio del aparejo:** 4182.5 m<sup>2</sup>
- **Volumen de agua filtrada por la red a 3,5 nudos:** 90 m<sup>3</sup>/s



Imagen 7

Es importante destacar que el buque cuenta con un sistema de **propulsión de doble hélice** (imagen 7), lo que le permite operar alternativamente con una o ambas hélices, según los requerimientos específicos de arrastre del arte de pesca o el régimen de navegación. A pesar de esta flexibilidad operativa, **el consumo promedio de combustible durante la campaña se mantuvo en torno a los 1.300 galones diarios, reflejando una demanda energética considerable**, incluso bajo configuraciones de propulsión optimizadas.

Para llevar a cabo la evaluación de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el buque durante una jornada de operación, se procedió en primer lugar a convertir el volumen de combustible consumido —1.300 galones en 24 horas— a litros, lo que equivale aproximadamente a **4.921 litros diarios** (considerando 1 galón ≈ 3,785 litros).

Posteriormente, se consideró el tipo de combustible marino utilizado, en este caso diésel marino (Marine Gas Oil, MGO), cuyo factor de emisión estándar según el IPCC (2006) es de **2,68 kg de CO<sub>2</sub> por litro de combustible**. Aplicando este coeficiente, se estimó que el buque emite aproximadamente:

**4.921 litros × 2,68 kg CO<sub>2</sub>/litro = 13.189,88 kg de CO<sub>2</sub> diarios**, equivalente a **13,19 toneladas de CO<sub>2</sub> por día de operación**.

Este cálculo se basa en el método de factores de emisión por unidad de consumo de combustible fósil, ampliamente aceptado en estudios de evaluación de huella de carbono y análisis de sostenibilidad energética.

## Comparación de emisiones de CO<sub>2</sub> entre la industria y familia



Para comprender la magnitud real de las emisiones de dióxido de carbono y poner en contexto el impacto ambiental de diversas actividades, presentamos a continuación una tabla comparativa entre diferentes consumos industriales y el de una familia tipo (imagen8).

**¿Cuál es el impacto de la huella de carbono?** Las emisiones de CO<sub>2</sub> de una familia promedio varían según el país, el nivel de consumo energético, el tipo de transporte utilizado, el tamaño del hogar y otros factores. Sin embargo, es posible establecer **valores de referencia confiables** que permiten realizar comparaciones significativas.

Esta comparación ayuda a visualizar de forma clara cómo ciertas operaciones —**como la de un buque científico en campaña**— pueden superar ampliamente las emisiones acumuladas de cientos de hogares, resaltando la necesidad de integrar **criterios de sostenibilidad** en todos los sectores y no solo cuantificar la biomasa o los costos operativos materiales, de recursos humanos sino integrarlos.

### Promedio mundial:

- **Emisiones por persona:** entre **4 y 5 toneladas de CO<sub>2</sub>** al año.
- **Familia tipo (3-4 personas):** entre **12 y 20 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales**.

### Ejemplo: Familia promedio en Perú:

Según estimaciones de organismos internacionales (IEA, Our World in Data, Banco Mundial):

- **Emisiones per cápita anuales en Perú (2022):** aprox. **2.2 toneladas de CO<sub>2</sub> por persona**.
- **Familia tipo (4 personas):**  
→ **2.2 t x 4 = 8.8 toneladas de CO<sub>2</sub> al año**  
→ Dividido por 365 días: **24.1 kg de CO<sub>2</sub> por día**

Si tomamos **28 kg de CO<sub>2</sub> diarios**, está dentro del rango razonable para una familia tipo latinoamericana de clase media.

### La tabla 3 es una comparación de las emisiones de CO<sub>2</sub>

Fuente	Emisión estimada de CO <sub>2</sub> (kg/día)	Fuente de referencia	Emisión estimada de CO <sub>2</sub> (toneladas/día)
Buque científico Humboldt (1300 gal/día)	13189,9	Cálculo directo (MGO, IPCC 2006)	13,19
Familia promedio ( día)	28,10	EPA & Global Carbon Atlas	0,02810
Automóvil (100 km/día)	19,20	EPA (auto promedio gasolina)	0,01920

Tabla 3

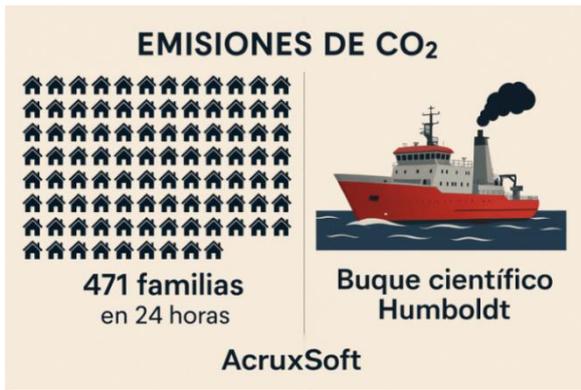


Imagen 9 - AcruxSoft

Según el análisis realizado por AcruxSoft, y con base en fuentes verificadas presentadas en la tabla 3 comparativa, se estima que serían necesarias aproximadamente **471 familias promedio** para generar, en conjunto y en un plazo de **24 horas**, una cantidad de **emisiones de dióxido de carbono equivalente** a la que produce el buque científico *Humboldt* durante un solo día de operación.

Este análisis revela el considerable impacto ambiental que puede generar una campaña científica en el mar. **Durante 25 días de operación**, el buque de investigación *Humboldt* alcanza una emisión acumulada estimada de **329.725 kg de CO<sub>2</sub>**, resultado directo del consumo intensivo de combustible necesario para sus maniobras de prospección y navegación.

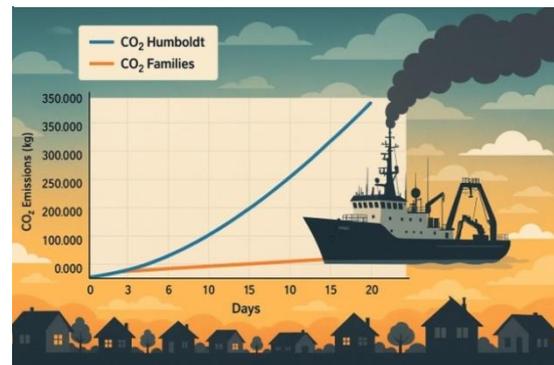


Imagen 10 - AcruxSoft

Para dimensionar esta cifra, se la compara con las emisiones de dióxido de carbono generadas por una familia promedio. En el mismo período, un grupo de **471 familias** (imagen 10) emitiría en conjunto una cantidad equivalente, evidenciando la **magnitud de la huella de carbono** que puede dejar una sola embarcación científica operando de Esta comparación invita a reflexionar sobre la necesidad urgente de incorporar criterios de sostenibilidad y eficiencia energética en la planificación y ejecución de campañas oceanográficas.

Esta comparación invita a reflexionar sobre la necesidad urgente de incorporar criterios de sostenibilidad y eficiencia energética en la planificación y ejecución de campañas oceanográficas.

**La ciencia del futuro no puede ser ajena a su propia huella ambiental**, especialmente cuando se considera que la emisión de **329.725 kg de CO<sub>2</sub>** tiene un impacto que perdura durante siglos: si bien cerca del 50 % puede ser absorbido por los océanos en los primeros 100 años, una fracción significativa permanece en la atmósfera por más de 1.000 años, contribuyendo de forma persistente al cambio climático global de forma continua (imagen 9).

### Propuesta para mitigar el impacto de emisiones de gas en los buques científicos.

Analizar el potencial de ahorro energético y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> al sustituir la propulsión convencional diésel por sistemas eléctricos o híbridos en un buque de 3.000 HP (aproximadamente 2.237 kW) requiere una evaluación integral que

contemple tanto la eficiencia del sistema como la fuente energética utilizada. **Con base en la experiencia técnica de AcruxSoft en pesquerías industriales** —particularmente en colaboración con la empresa Estremar (Ushuaia, Argentina)—, presentamos a continuación una síntesis comparativa fundamentada en casos reales y en literatura técnica especializada.

### Reducción potencial de emisiones de CO<sub>2</sub> en buques científicos de 3000HP

#### Caso base

Buque Humboldt emite aproximadamente 13.189,88 kilogramos de CO<sub>2</sub> al día



Imagen 11

AcruxSoft

El análisis de las emisiones de dióxido de carbono asociadas al buque científico *Humboldt*, que opera actualmente con un sistema de propulsión diésel convencional, revela una emisión diaria aproximada de **13.189,88 kilogramos de CO<sub>2</sub>**.

La imagen 11 presenta distintos escenarios de transición tecnológica orientados a mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental:

#### 1. Sistema híbrido básico

Con una eficiencia mejorada del 20 al 40 %, este sistema permitiría una reducción diaria estimada de entre **2.638 y 5.275 kg de CO<sub>2</sub>**, lo que llevaría las emisiones diarias a un rango de **7.900 a 10.500 kg**.

#### 2. Sistema híbrido optimizado con banco de baterías

Esta opción, más avanzada, ofrece una reducción potencial del 30 al 50 %, con una disminución diaria proyectada de **3.956 a 6.595 kg de CO<sub>2</sub>**. En este caso, las emisiones quedarían entre **6.600 y 9.200 kg diarios**.

#### 3. Propulsión eléctrica completa con energía renovable

En condiciones ideales, este sistema elimina por completo las emisiones operativas. La emisión directa durante la operación sería de **0 kg de CO<sub>2</sub> por día**, aunque deben considerarse las emisiones indirectas vinculadas a la fuente de generación eléctrica si no proviene de energías limpias.

### Conclusión sobre sistemas de propulsión

El uso de sistemas híbridos en buques de investigación se presenta como una alternativa sólida para disminuir de forma significativa las emisiones de CO<sub>2</sub> durante la operación diaria. En campañas extensas, como una de 25 días, este tipo de tecnología podría permitir una reducción total de entre 99 y 165 toneladas de dióxido de carbono, tomando como referencia las condiciones de funcionamiento del buque *Humboldt*.

Por otra parte, la incorporación de propulsión eléctrica completa representa el escenario de menor impacto ambiental. Sin embargo, su viabilidad práctica está

condicionada por factores operativos relevantes, entre ellos la disponibilidad de estaciones de recarga y la autonomía energética requerida para operar en áreas alejadas de la costa o con limitaciones logísticas.

### Estimación Espacial del Área de Fondo Impactada por el Arte de Arrastre en la Expedición del B/I Humboldt

Durante la campaña científica realizada a bordo del buque *Humboldt*, AcruxSoft realizó un análisis para determinar el área total del fondo marino recorrida por el arte de arrastre. De acuerdo a la información aportada, la expedición se extendió por **25 días**, manteniendo una velocidad promedio de **3,5 nudos** en las maniobras de pesca.

Para calcular la superficie afectada, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros operativos:

- **Área barrida total por el aparejo:** 4.182,5 m<sup>2</sup> (calculado Trawl Vision)
- **Duración promedio de cada lance:** 30 minutos (equivalente a 1.800 segundos)
- **Cantidad total de lances realizados:** 73
- **Fuente de datos:** equipo científico de IMARPE

### Contribución de AcruxSoft a la mitigación del impacto del arrastre sobre el fondo marino en expediciones científicas en el Perú

Uno de los avances concretos que sugiere **AcruxSoft** para reducir el impacto del arrastre sobre el fondo marino es la utilización de **puertas elevadas**, también conocidas bajo el término internacional "*off Bottom o puertas voladoras*", las cuales operan **sin contacto directo con el lecho marino** (imagen 12).



Este enfoque, ya adoptado en varias regiones pesqueras de Europa como parte de normativas ambientales más estrictas, apunta a **minimizar el daño físico que las puertas tradicionales ocasionan en hábitats sensibles**. Entre ellos se encuentran fondos blandos, áreas de alta productividad ecológica y ecosistemas bentónicos vulnerables como praderas submarinas o comunidades coralinas.

La incorporación de puertas “**voladoras o Off bottom**” o suspendidas del fondo en los sistemas de arrastre reduce significativamente la resuspensión de sedimentos, la alteración de hábitats bentónicos y la captura incidental de especies no objetivo, favoreciendo una operación pesquera más sustentable y con menor impacto sobre los ecosistemas marinos.

Además, permite conservar la eficiencia operativa del arte de pesca, manteniendo su geometría funcional incluso en condiciones variables, especialmente cuando se complementa con herramientas de monitoreo y de optimización de la simetría.

Incorporar este tipo de soluciones en los desarrollos de AcruxSoft no solo responde a las tendencias internacionales de regulación, sino que representa un compromiso claro con una pesca más **responsable, eficiente y ambientalmente sostenible**.

#### **Síntesis del impacto del arrastre en el fondo:**

Durante esta expedición, el sistema de arrastre cubrió una superficie aproximada de **549,7 kilómetros cuadrados de fondo marino**. Este valor permite dimensionar con mayor precisión el alcance físico de las actividades de prospección científica, y se convierte en un punto de partida fundamental para avanzar en la evaluación del impacto ambiental asociado a este tipo de operaciones de arrastre científico.

---

#### **Conclusión final**

Este informe da cuenta del valioso trabajo conjunto entre el conocimiento científico aportado por los **investigadores del IMARPE** y las capacidades de análisis computacional desarrolladas por el equipo de AcruxSoft, con el objetivo de fortalecer la calidad técnica y ambiental de las campañas de investigación pesquera. Esta colaboración marca un punto de inflexión hacia una nueva forma de explorar y gestionar los recursos marinos, basada en evidencia cuantificable, eficiencia operativa y responsabilidad ambiental.

En un contexto global donde la pesca enfrenta crecientes exigencias de sostenibilidad, resulta indispensable repensar las prácticas tradicionales. Aunque la técnica del arrastre ha sido objeto de debate, es innegable que continúa siendo el método predominante a nivel mundial, representando más del 75 % de las capturas, incluidas las realizadas en campañas científicas.

Creemos firmemente que es posible transformar esta práctica mediante la incorporación de criterios de diseño avanzados, sistemas de monitoreo en tiempo real, materiales de alta eficiencia y una gestión rigurosa de los caladeros. De este modo, la pesca de arrastre puede alinearse con los principios de sostenibilidad promovidos por la FAO y otras organizaciones internacionales.

En este proceso, herramientas como **Trawl Vision** juegan un rol clave, al permitir optimizar el diseño y la operación de los aparejos de pesca, facilitando una actividad más eficiente, selectiva y con menor impacto ambiental. Al integrar esta tecnología con sensores inteligentes, análisis avanzados y sistemas de propulsión más eficientes,

acompañamos a la flota en su transición hacia operaciones más seguras, precisas y ambientalmente responsables.

Este enfoque integral no solo mejora el rendimiento operativo a bordo, sino que también protege los ecosistemas marinos, reduce la captura incidental de especies no objetivo y contribuye de manera concreta a disminuir la huella ecológica de la pesca científica y comercial.

## Agradecimiento

Agradecemos al equipo científico de IMARPE por haber confiado en las soluciones desarrolladas por AcruxSoft, integrándolas en sus procesos de evaluación pesquera. Esta colaboración reafirma nuestro compromiso con la innovación aplicada al sector marítimo y consolida el papel de AcruxSoft como referente tecnológico en el desarrollo de herramientas que promueven una pesca más eficiente, responsable y alineada con los desafíos del siglo XXI.

Frank Chalkling  
AcruxSoft



Imagen 13

En la imagen 13, se observa al equipo de científicos del IMARPE junto a Frank Chalkling. De izquierda a derecha: Dr. Rodolfo Cornejo, Magíster Julio Alarcón, el estudiante Abraham Azaña y el patrón de pesca Juan Guerrero.