

**COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL**  
**GRUPO DE TRABAJO PERMANENTE AD HOC SOBRE PLANTADOS**

**10ª REUNIÓN**

La Jolla, California (EE. UU.)  
3-4 de junio de 2026

**DOCUMENTO FAD-10-02**

**DINÁMICA DE LOS DISPOSITIVOS DE CONCENTRACIÓN DE PECES (DCP) EN EL  
OPO: UN ANÁLISIS BASADO EN TRAYECTORIAS**

Este documento fue elaborado por el personal de la CIAT en respuesta a una recomendación del FADWG-9, respaldada por el SAC-16, en la que se «Se avance en el análisis de la vida útil de los DCP biodegradables («bioDCP»), o que, además de la información proporcionada por los observadores en el OPO, el personal científico de la CIAT proporcione al Grupo un análisis más detallado, teniendo en cuenta la información sobre las posiciones de las boyas asociadas a los DCP, así como la información pertinente de los observadores de la WCPFC».

Dan Ovando, Marlon Román, Leanne Fuller, Cleridy Lennert-Cody, Sylvain Caillot, Lauriane Escalle<sup>1</sup>,  
Jennifer Mourot<sup>1</sup>, Jon López

<sup>1</sup> La Secretaría del Pacífico

**ÍNDICE**

Resumen ejecutivo.....	3
1. Introducción.....	4
2. Métodos.....	6
2.1 Glosario de términos.....	6
2.2 Resumen.....	7
2.3 Datos.....	7
2.3.1 Normalización de la temperatura por fabricante.....	8
2.3.2 Fuentes de datos adicionales.....	8
2.4 Clasificación húmedo/seco.....	9
2.5 Algoritmo de segmentación.....	10
2.6 Análisis de segmentos.....	12
2.7 Filtrado por truncamiento.....	12
2.8 Patrones espaciales.....	12
3. Resultados.....	13
3.1 Filtrado de datos.....	13
3.2 Distribución de fabricantes.....	13
3.3 Clasificación húmedo/seco.....	15
3.3.1 Eventos de recuperación no observados.....	19
3.3.2 Importancia de las características del modelo «húmedo/seco».....	21
3.4 Dinámica de la vida útil de las boyas.....	22
3.4.1 Patrones espaciales.....	25

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

3.4.2 Estado de humedad/sequedad de las terminales por boya .....	29
3.4.3 Informes de desactivación .....	33
3.4.4 Segmentos entre convenios.....	36
3.4.5 Comparación entre los bio-FAD y los FAD convencionales .....	38
3.4.6 Varamientos, rescates y avistamientos observados.....	40
4. Discusión .....	41
4.1 Recomendaciones del personal.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2 Advertencias.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3 Conclusiones.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Referencias.....	46

## RESUMEN

En respuesta a una recomendación del FADWG-9, este documento examina la dinámica de los dispositivos de concentración de peces (DCP) a la deriva en el Océano Pacífico oriental (OPO) para informar a la CIAT sobre la gestión de la pesquería de DCP. Ampliando el trabajo FAD-09-02 basado en datos de observadores, analiza los datos de seguimiento de boyas por satélite<sup>1</sup> compartidos con la CIAT en virtud de las Resoluciones C-21-04 y C-24-01, que abarcan 134 877 boyas únicas rastreadas entre 2022 y 2025. Tras el filtrado de control de calidad, 100 474 boyas (74,5 %) resultaron aptas para el análisis de destino.

Solo las boyas del fabricante D llevan sensores de conductividad que miden el estado húmedo/seco. Utilizando estas como conjunto de entrenamiento, construimos un modelo de clasificación que predijo el estado húmedo/seco para todas las demás boyas con gran precisión (AUC del ROC = 0,99; precisión equilibrada media por boya = 0,97; el 96,5 % de las observaciones verdaderamente secas y el 95,6 % de las verdaderamente húmedas se clasificaron correctamente en los datos de prueba retenidos).

La conclusión principal es que la mayoría de las boyas —el 84,2 % en total— se clasificaron como «húmedas» (es decir, a la deriva)<sup>2</sup> en el momento de su observación final. Este patrón fue consistente tanto en las boyas medidas (94,3 % húmedas) como en las predichas por el modelo (79,8 % húmedas). Una observación final «húmeda» indica que no hay evidencia directa de recuperación o varamiento, lo que sugiere que la boya seguía a la deriva en el mar cuando fue detectada por última vez. Por el contrario, una observación final en seco puede reflejar una recuperación (p. ej., recuperación intencionada, reapropiación), un varamiento (p. ej., encallamiento, en tierra) o el tránsito en la cubierta de un buque; los datos disponibles no permiten distinguir entre estos resultados. La mayoría de las boyas tenían entre 1 y 10 segmentos<sup>3</sup>, y cada nuevo segmento implicaba un ciclo de recuperación y reubicación.

Desde el punto de vista espacial, las observaciones de boyas en estado seco se concentraron cerca de las costas —a lo largo de América Central y del Sur, en torno a las Galápagos y a lo largo de las costas de las naciones insulares al oeste de la zona del Convenio de la CIAT—, mientras que las boyas observadas por última vez en aguas de alta mar terminaron casi exclusivamente en estado húmedo. La ubicación del despliegue mostró una señal menos clara<sup>4</sup>, siendo las boyas desplegadas en el noreste y en algunas partes del margen sur del EPO ligeramente más propensas a terminar en estado seco. Se observó directamente a un total de 5.584 boyas desplegadas por la CIAT cruzando hacia la zona del Convenio de la WCPFC antes de ser censuradas<sup>5</sup> (probablemente una subestimación), y otras 14.073 fueron observadas por última vez en estado húmedo a  $\pm 2^\circ$  del límite de  $150^\circ\text{O}$  —un patrón consistente con la censura en el límite de la zona del Convenio más que con la recuperación o el hundimiento en ese lugar. Este comportamiento depende en gran medida del fabricante: las boyas de un fabricante concreto casi siempre se censuraban al salir del EPO, mientras que las de otros fabricantes seguían transmitiendo. En conjunto, el 23,4 % de las boyas desplegadas por la CIAT con observaciones finales en el agua entraron o probablemente derivaron alrededor o dentro de la zona de la Convención de la WCPFC.

Comparamos los despliegues de bio-FAD con los despliegues de FAD convencionales emparejados en el tiempo y el espacio dentro de la zona principal de despliegue de bio-FAD y no encontramos diferencias claras en la duración de los segmentos o la distancia recorrida entre los dos tipos. Los datos de

---

<sup>1</sup> Consulte el glosario de términos de la sección 2.1 para ver las definiciones.

<sup>2</sup> Consulte el glosario de términos de la sección 2.1 para ver las definiciones.

<sup>3</sup> Consulte el glosario de términos de la sección 2.1 para ver las definiciones.

<sup>4</sup> Consulte el glosario de términos de la sección 2.1 para ver las definiciones.

<sup>5</sup> En este contexto específico, «censura» (o censor) significa la observación final (es decir, la última transmisión registrada) de una boya dentro de un segmento; véanse las definiciones en el Glosario de términos de la sección 2.1.

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

seguimiento de las boyas no incluyen información intrínseca sobre la construcción o el diseño de los FAD, por lo que esta comparación se limita a los segmentos que pudieron emparejarse con una etiqueta de FAD registrada por un observador.

De las 100 474 boyas filtradas por truncamiento, el 64,7 % apareció en algún momento en la base de datos de desactivación de la CIAT, pero solo el 27,5 % tenía un registro que pudiera emparejarse, dentro de bandas de calidad aceptables, con la observación terminal; el resto se dividió entre boyas ausentes por completo de la base de datos de desactivación (35,3 %) y boyas con un registro de desactivación archivado pero sin registro que coincidiera con la observación final de la boya (37,2 %). De todas las boyas finales, el 18,2 % llevaba un motivo codificado (el resto eran «registros de desactivación sin codificar»), siendo las zonas fuera de los DCP las más frecuentes (8,6 %).

A la luz de estos resultados, el personal de la CIAT recomienda cuatro medidas: (1) mejorar la notificación de la desactivación y reactivación a distancia; (2) ampliar la notificación de datos más allá del Área de la Convención de la CIAT para las boyas desplegadas en el OPO; (3) continuar la colaboración a escala del Pacífico para reducir la pérdida de DCP y reforzar los programas de recuperación; y (4) dar prioridad al estudio de opciones de gestión espacial, programas de recuperación y sistemas de incentivos.

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de dispositivos de concentración de peces (DCP) a la deriva se ha convertido en la estrategia predominante de pesca de atún en el Océano Pacífico oriental (OPO) para las flotas que pescan atunes tropicales (CIAT, 2025; ISSF, 2025; Murua et al., 2023). El uso de los FAD ha evolucionado sustancialmente, pasando de simples balsas flotantes en los primeros años de la pesquería a estar equipados actualmente con transpondedores satelitales y ecosondas (Hall y Román, 2013; López et al., 2014; López et al., 2016; Cillari et al., 2018). Estos DCP están sujetos a una lista en constante evolución de medidas de ordenación de la CIAT a partir de mayo de 2026.

La [Resolución C-25-01](#) (la medida de conservación del atún vigente para el período 2026-2028) limita el número de DCP activos por buque de cerco a 340 para los buques grandes de clase 6 (capacidad de la bodega  $\geq 1.200 \text{ m}^3$ ), a 210 para los buques más pequeños de clase 6, a 85 para los de clase 4-5 y a 50 para los de clase 1-3. Un DCP se considera «activo» cuando se despliega en el mar con su boya satelital transmitiendo su ubicación, la cual es rastreada por el buque, su propietario u operador. Se aplica una prohibición de 15 días para el despliegue de DCP antes de cada período de veda estacional seleccionado por cada CPC.

La [Resolución C-25-01](#) exige que los buques faciliten mensualmente a la Secretaría de la CIAT los datos brutos diarios de las boyas satelitales —incluida la trayectoria GPS y la información del ecosonda— con un retraso de 60 a 90 días. Los datos del VMS también deben comunicarse cada dos meses. El párrafo 22 y el anexo II de la Resolución C-25-01 exigen además a las CPC que notifiquen a la Secretaría todas las desactivaciones remotas de boyas satelitales a intervalos mensuales con un retraso de 60 a 90 días, registrando la fecha, la hora, la ubicación y el motivo (pérdida de señal, DCP robado, varada, desactivación temporal durante el cierre, transferencia de propiedad, DCP fuera de las zonas designadas u otros). Las disposiciones equivalentes sobre la notificación de desactivaciones remotas se incorporaron a la resolución actual a partir de las resoluciones anteriores [C-21-04](#) (2022-2024) y [C-24-01](#) (2025-2026), que abarcan el período de datos de boyas utilizado en este análisis. Estos registros alimentan el registro de desactivaciones utilizado en este análisis. Existen requisitos similares para las reactivaciones remotas.

La [resolución C-23-04](#) estableció una transición gradual de los DCP convencionales a los totalmente biodegradables. Desde el 1 de enero de 2025, se han prohibido las redes de malla en todos los componentes de los DCP (solo diseños que no provoquen enredos). A partir del 1 de enero de 2026, al

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

menos un componente principal (de superficie o subsuperficial) deberá estar fabricado con materiales biodegradables (categorías I-IV en la clasificación de la resolución). Para el 1 de enero de 2029, los DCP deberán ser totalmente biodegradables, salvo los componentes de flotación de plástico (solo categorías I o II). La Comisión decidirá en 2030 si exige el uso de DCP totalmente biodegradables (Categoría I) para 2031.

La Resolución [C-25-07](#) (que modifica y sustituye a la C-24-06) prohíbe a los buques de apoyo operar en apoyo de la pesca con FAD en el EPO y fomenta los programas voluntarios de recuperación de FAD. Las operaciones de recuperación se limitan a la recogida para su eliminación o reciclaje, y los DCP recuperados se llevan a puerto. Las disposiciones sobre la recuperación voluntaria estarán en vigor hasta el 31 de diciembre de 2028, mientras se analizan los resultados iniciales; la prohibición de los buques de apoyo no tiene límite de tiempo.

La gestión eficaz del uso de DCP en el OPO requiere una comprensión clara de la dinámica de los DCP, incluida la distribución espacio-temporal de los despliegues/DCP «activos», el tiempo que pasan en el agua, los lugares a los que derivan y su destino final —ya sea que se recuperen o continúen derivando de forma hasta hundirse o varar—. También requiere evaluar los efectos de la construcción biodegradable en estos procesos. El estudio [FAD-09-02](#) proporcionó una evaluación inicial de la dinámica de los DCP basada en datos recopilados por observadores de la CIAT durante las operaciones de pesca. Un punto fuerte clave de ese estudio fue la capacidad de rastrear la infraestructura física de un DCP a lo largo de las observaciones, lo que condujo a un hallazgo importante: la mayoría de los DCP (>70 %) nunca se volvieron a observar tras su despliegue inicial. Aunque los buques atuneros de clase 6 cuentan con una cobertura de observadores del 100 %, las interacciones con DCP en las que participan buques sin observadores a bordo —como los buques de cerco más pequeños que no están obligados a llevar un observador o aquellos que faenan fuera de la zona de la Convención de la CIAT— no están cubiertas por los datos utilizados en el estudio FAD-09-02, lo que deja importantes lagunas en la cobertura.

El presente documento se basa en las conclusiones del informe FAD-09-02 y utiliza datos sobre la trayectoria de las boyas facilitados en virtud de las Resoluciones C-21-04 y C-24-01. En virtud de dichas Resoluciones, la CIAT tiene acceso a las transmisiones satelitales sin procesar procedentes de los DCP (boyas) desplegados entre 2022 y 2025. Aunque estos datos corresponden a las boyas y no a los DCP, proporcionan un medio alternativo e independiente de los observadores para el seguimiento y análisis de la dinámica de los DCP. Mediante el uso de estos datos de boyas satelitales, este análisis amplía nuestra comprensión de la dinámica de los DCP en el OPO, lo cual es especialmente importante para complementar el destino de los DCP no observados. También se ofrecen recomendaciones sobre mejoras en la recopilación de datos, así como consideraciones para la priorización futura de la gestión de los DCP. El presente documento responde a una solicitud de la 9.ª Reunión del Grupo de Trabajo Ad Hoc sobre DCP, respaldada por la 16.ª Reunión del Comité Asesor Científico (SAC-16), en la que se recomendaba al personal científico de la CIAT que *«se avance en el análisis de la vida útil de los DCP biodegradables («bioDCP»), o que, además de la información proporcionada por los observadores en el OPO, el personal científico de la CIAT proporcione al Grupo un análisis más detallado, teniendo en cuenta la información sobre las posiciones de las boyas asociadas a los DCP, así como la información pertinente de los observadores de la WCPFC»*.

## 2. MÉTODOS

### 2.1 GLOSARIO DE TÉRMINOS

A lo largo de este documento utilizamos la siguiente terminología:

- **Boya:** Un dispositivo individual de seguimiento por satélite fijado a un DCP. Cada boya se identifica mediante un código único y puede desplegarse varias veces a lo largo de su vida útil, ya sea en el mismo DCP físico o en otros diferentes. La boya es también, en la actualidad, el marcador del DCP, de conformidad con la Resolución C-19-01.
- **Húmeda:** boya clasificada como en el agua, según la medición directa de la conductividad o la predicción del modelo.
- **En seco:** boya clasificada como fuera del agua o que no está a la deriva. Un estado «en seco» podría indicar recuperación (recuperación permanente o temporal, reapropiación), varamiento (p. ej., encallada, en tierra) o tiempo en cubierta durante el transporte. Es importante destacar que «en seco» es independiente de la causa: describe lo que detecta el sensor o lo que predice el modelo.
- **Censurado (o censor/ed):** La observación final (es decir, la última transmisión registrada) de una boya dentro de un segmento, independientemente de su estado «húmedo» o «seco» en ese momento. La censura suele reflejar el punto en el que finaliza el seguimiento de ese segmento debido al apagado de la boya, la desactivación oficial, el geoperimetraje, la pérdida de señal u otras causas.
- **Apagada:** Una boya que ha dejado de transmitir datos sin que se haya presentado un informe oficial de desactivación. Esto puede ocurrir por diversas razones, entre ellas el apagado manual por parte del propietario, el agotamiento de la batería o la pérdida de señal. «Apagada» es un subconjunto de la censura (véase más arriba) y se distingue de la «desactivación» oficial en el sentido operativo de la CIAT y de las boyas.
- **Segmento:** Un período continuo durante el cual se estima que una boya está a la deriva en el agua (en el agua), desde el despliegue/activación inicial hasta que se recupera, se pierde o finaliza la transmisión de datos. Una sola boya puede tener múltiples segmentos si se recupera y se vuelve a desplegar/reactivar. Los eventos triviales en tierra (por ejemplo, retiradas breves para mantenimiento o comprobación) no se consideran una interrupción del segmento.
- **Despliegue:** La primera observación en el agua de un segmento, que representa el momento en que la boya (y su DCP asociado) se activó, entró en el agua y comenzó a derivar.
- **Inmersión:** El subconjunto de observaciones en el mar dentro de un segmento que excluye el tiempo prolongado en cubierta. Todas las observaciones en el agua se consideran de inmersión, junto con la primera observación en tierra de cada evento de retirada contiguo (que marca la recuperación). Se excluyen las observaciones en tierra posteriores durante la misma retirada (véase el algoritmo de segmentación más abajo para más detalles).
- **Banda de calidad:** Nivel que describe el grado de coincidencia entre un registro de la base de datos de desactivación y la observación final de una boya. Las bandas «exacta» y «cercana» denotan una coincidencia por código de boya con un desfase temporal dentro de un umbral aceptable ( $\leq 7$  días); las bandas más amplias y los casos sin coincidencia se tratan como emparejamientos fallidos. Se utiliza a lo largo de la sección 3.7 para resumir la fiabilidad con la que el registro de desactivación rastrea los eventos finales observados.

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

## **2.2 RESUMEN**

Este análisis utilizó una serie de métodos, que resumimos brevemente aquí y describimos en detalle a continuación. Las fuentes de datos principales fueron las posiciones y los datos de sensores asociados transmitidos por las boyas satelitales (por ejemplo, la temperatura del agua y el estado húmedo/seco para las boyas equipadas con sensores de conductividad<sup>6</sup>). Una de las principales cuestiones de interés es cuántos DCP están a la deriva activamente en el agua (*húmedos*) en un momento dado, durante cuánto tiempo, y cuáles son la dinámica y el destino de estos. En el momento de redactar este informe, solo las boyas de un fabricante (Fabricante D, 30 %) están equipadas con un sensor de conductividad que informa del estado húmedo/seco; el 70 % restante no cuenta con un sensor de estado húmedo/seco. Para subsanar esta carencia, entrenamos un modelo de clasificación de aprendizaje automático que predice el estado húmedo/seco utilizando las boyas del Fabricante D como referencia y utilizamos este modelo para clasificar el estado húmedo/seco de todas las demás boyas.

A diferencia de FAD-09-02, este análisis no realiza un seguimiento explícito de cada DCP individual, sino que sigue las trayectorias de las boyas activas. Cabe señalar que la Resolución C-19-01 exige que los DCP se marquen utilizando boyas activas y, por lo tanto, también podría ser un buen indicador de la dinámica de los DCP en el agua. Dado que una misma boya puede desplegarse en múltiples DCP a lo largo de su vida útil, necesitábamos una forma de dividir la serie temporal de cada boya en segmentos discretos<sup>7</sup> (por ejemplo, un despliegue, una recuperación y un posterior redespliegue en una nueva ubicación). Desarrollamos un algoritmo de segmentación basado en el conocimiento operativo de los despliegues de DCP (velocidades de deriva plausibles, tiempo a bordo para reparaciones o mantenimiento, etc.) y lo utilizamos para dividir las observaciones de las boyas en segmentos individuales, donde cada segmento representa un período de deriva continuo entre el despliegue y la recuperación (o pérdida).

A partir de esta información, llevamos a cabo posteriormente una serie de análisis sobre la dinámica de los FAD. Estos incluyeron tanto estadísticas descriptivas como análisis cuantitativos. En concreto, realizamos un seguimiento de la dinámica espacio-temporal de las boyas activas y estimamos mapas espaciales de la probabilidad de que la última observación de un segmento o boya determinados concluyera en estado *seco*, lo que sirve como indicador de una posible recuperación o varamiento. También examinamos las diferencias en la dinámica entre los FAD construidos con materiales convencionales y los construidos con materiales biodegradables (es decir, bioFAD), los patrones en la ubicación de despliegue y el riesgo aproximado asociado, las causas y los patrones en los informes de desactivación, las tasas de cruces hacia el Pacífico occidental y los vínculos con los varamientos observados y los programas de recuperación.

## **2.3 DATOS**

La base de datos de transmisiones por satélite contiene 79 365 811 observaciones de 134 877 boyas únicas entre 2022 y 2025. Llevamos a cabo un filtrado mínimo de estos datos antes de incluirlos en nuestros modelos. El filtro principal consistió en eliminar las observaciones claramente situadas en el interior. En primer lugar, identificamos todos los puntos situados a menos de 50 km de la costa como puntos terrestres candidatos, utilizando la capa terrestre «naturalearth» de mayor resolución (10 m); los puntos situados a más de 50 km de cualquier masa continental se conservaron sin más filtrado. A continuación, aplicamos un filtro de escala fina a estos candidatos, eliminando cualquier punto que se encontrara a más de 1 km tierra adentro desde una costa identificada. Se conservaron los puntos situados a menos de 1 km de la costa para evitar excluir boyas varadas en manglares, estuarios, arrecifes o playas.

---

<sup>6</sup> Véase el glosario de términos de la sección 2.1 para las definiciones.

<sup>7</sup> Véanse las definiciones en el Glosario de términos de la sección 2.1.

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

También calculamos la velocidad (en nudos) entre observaciones consecutivas como la distancia dividida por el tiempo transcurrido. Se eliminó un pequeño número de observaciones (23 de unos 58 millones) porque presentaban velocidades sostenidas superiores a 200 nudos durante intervalos de varias horas que abarcaban cientos de millas náuticas, lo que concuerda con el transporte aéreo de las boyas. Los valores de velocidad restantes superiores a 20 nudos —causados por el error de posición del GPS dividido por intervalos de transmisión cortos— se limitaron a 20 nudos.

### **2.3.1 NORMALIZACIÓN DE LA TEMPERATURA POR FABRICANTE**

Los fabricantes de las boyas se identificaron a partir del código de la boya. Los fabricantes que representaban menos del 1 % de las observaciones se agruparon como «Otros». La mayoría de las observaciones (92 %) incluían datos de temperatura del agua medidos por un sensor. Sin embargo, solo las boyas del fabricante D están equipadas con un sensor de conductividad que mide el estado húmedo/seco, lo que significa que el modelo de clasificación debe basarse únicamente en las boyas del fabricante D. Las diferentes boyas pueden colocar sus sensores de temperatura del agua en distintas partes de la boya, o tener diferentes niveles de precisión o sesgo. Para corregir esto, ajustamos un modelo espacio-temporal de la temperatura del agua reportada en función del fabricante de la boya utilizando sdmTMB (Anderson et al. 2024), con el submodelo del Fabricante D, el más común, como nivel de referencia. El modelo incluía un campo aleatorio espacio-temporal de tipo « » (AR1, proceso autorregresivo de 1 mes, por año-mes) para absorber la variación debida a la ubicación, la estación y las tendencias interanuales y estacionales, aislando el efecto marginal del fabricante sobre la temperatura registrada. A continuación, se restaron las compensaciones específicas de cada fabricante de las lecturas de temperatura brutas, normalizando todas las boyas a la escala de referencia del fabricante D antes de entrenar el modelo de detección de condiciones húmedas/secas (Figura 2).

### **2.3.2 FUENTES DE DATOS ADICIONALES**

Ampliamos los datos de seguimiento de las boyas con i) datos del FAD-09-02, que incluyen información sobre si el DCP era un «bioDCP» biodegradable, ii) datos sobre varamientos y recuperaciones de DCP de colaboradores de la región, incluido el WCPO, y iii) datos sobre desactivaciones remotas notificadas a la Secretaría de la CIAT en virtud de las Resoluciones C-21-04 y C-24-01.

El conjunto de datos FAD-09-02 contiene registros de observadores sobre las interacciones con los dispositivos de concentración de peces (DCP), incluyendo si cada DCP se clasifica como un DCP biodegradable o un DCP convencional. Para vincular esta información con los datos de trayectoria de las boyas, fusionamos los registros utilizando los códigos de las boyas, las ubicaciones y las marcas de tiempo. Esto nos permitió comparar las trayectorias de las boyas asociadas a DCP fabricados con materiales convencionales o biodegradables. Limitamos este análisis a la zona principal de despliegue de bioFAD (definida como el conjunto de celdas de la cuadrícula de 5° con los niveles más altos de despliegues de bioFAD notificados por los observadores, identificadas mediante un umbral de detección de codos en la distribución acumulativa de los despliegues de bioFAD). Al centrarnos en este subconjunto, minimizamos las diferencias de ubicación y tiempo en las que se desplegaron los FAD, teniendo en cuenta las diferencias intrínsecas entre los dos métodos de construcción de FAD.

Varios países y territorios insulares del Pacífico (PICT) del Océano Pacífico occidental y central (WCPO) han puesto en marcha programas de recopilación voluntaria de datos sobre varamientos y recuperaciones de DCP, en colaboración con la Comunidad del Pacífico (SPC; véase: [FAD-07 INF-A](#); [FAD-09 INF-A](#)). En este informe, incorporamos datos regionales de la WCPFC-SPC, los territorios de ultramar de Francia (Polinesia Francesa en el WCPO y el Atolón Clipperton en el EPO) y el Galapagos Conservation Trust (GCT). Los colaboradores proporcionaron una lista de boyas procedente de la base de datos de la SPC para todo el WCPO y de la colaboración entre el GCT y la Dirección del Parque Nacional de las Galápagos, que recopila

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

datos sobre varamientos de DCP que coinciden con los registros de la base de datos de seguimiento de la CIAT. Cada registro incluía el código de la boya, la ubicación y la marca de tiempo de la recuperación o el varamiento del DCP/boya.

Tal y como se describe en el proceso de filtrado anterior (véase la sección 2.3. Datos), las mediciones de distancia entre los casos notificados de recuperación de DCP y varamientos y la base de datos de seguimiento se realizaron, cuando procedía, utilizando las coordenadas GPS precisas proporcionadas en estos conjuntos de datos externos. Sin embargo, estas posiciones se redondearon al grado más cercano de latitud y longitud para su representación en un mapa.

Las normas C-21-04 y C-24-01 (ahora C-25-01) exigen la notificación de las desactivaciones remotas de las FAD. Las desactivaciones remotas son notificadas mensualmente por el buque o por el fabricante de la boya. Para incorporar estos datos, fusionamos las desactivaciones notificadas con la base de datos de trayectorias de las boyas utilizando el código de la boya y la marca de tiempo de las desactivaciones. Dado que el momento de las transmisiones de la trayectoria y las desactivaciones no siempre coinciden exactamente, utilizamos un proceso de unión difusa, clasificando cada coincidencia en una de tres categorías de calidad basadas en el desfase de tiempo absoluto entre la desactivación notificada y la transmisión de la trayectoria más cercana para esa boya: *exacta* (en un plazo de 24 horas), *cercana* (en un plazo de 7 días) y *aproximada* (más de 7 días). También realizamos una comparación basada exclusivamente en el código de la boya para examinar el grado de solapamiento entre las bases de datos de trayectorias y de desactivaciones. En 2022, siguiendo la recomendación del FADWG y el requisito de la C-21-04, la Secretaría de la CIAT diseñó un formulario específico para la desactivación y reactivación a distancia (disponible en el sitio web de la CIAT con tutoriales adjuntos) con el fin de estandarizar la notificación de las desactivaciones y reactivaciones de boyas. La Secretaría también ha recibido muchos informes de desactivación presentados por fabricantes de boyas al margen de este formulario. Este análisis incorpora todas las desactivaciones notificadas facilitadas a la Secretaría, independientemente del formato de presentación; véase la sección 4.1 para consultar la recomendación del personal sobre mejoras para futuras desactivaciones y reactivaciones a distancia.

## **2.4 CLASIFICACIÓN HÚMEDO/SECO**

Los datos correspondían a boyas de múltiples fabricantes. Las boyas del fabricante D estaban equipadas con un sensor de conductividad que registraba si la boya estaba mojada o seca en cada transmisión. La información sobre el estado de « » de una boya del fabricante D (es decir, mojada o seca) era esencial para dividir cada boya en segmentos separados por períodos de retirada significativa del agua (por ejemplo, el regreso a puerto para su reutilización antes de su nuevo despliegue en una nueva ubicación). A lo largo de este informe, el significado de «mojada» difiere ligeramente entre las dos fuentes de estado de mojada/seca. El sensor de conductividad del fabricante D indica que está mojada siempre que el propio sensor se encuentra en el agua, por lo que una boya varada pero parcialmente sumergida puede registrarse como mojada. El estado de mojada/seca previsto por el modelo (descrito más adelante), que incorpora tanto la señal de temperatura del agua como la información de movimiento, clasificaría generalmente como seca a una boya varada y que no se desplaza.

Tras filtrar los datos, el 22 % de las observaciones incluía una medición directa del estado húmedo/seco de la boya, lo que significa que el estado del 78 % restante tuvo que estimarse.

Utilizamos el subconjunto de observaciones con estado «húmedo» o «seco» conocido para entrenar un modelo LightGBM (un método de aprendizaje automático de refuerzo de gradientes) con el fin de clasificar cada observación como «húmeda» o «seca». Los predictores incluían la velocidad, la temperatura del agua, sus cambios diferidos (valores delta y de desplazamiento), el intervalo de tiempo entre transmisiones consecutivas (horas delta), el rumbo y el rumbo de desplazamiento, la hora del día

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

(como componentes seno/coseno) y un indicador de la primera observación de cada boya. El intervalo de transmisión refleja el comportamiento del operador: los pescadores suelen configurar pings más frecuentes cuando un FAD está sumergido activamente o el buque lo está buscando<sup>8</sup>, por ejemplo, que cuando una boya se encuentra en cubierta o almacenada. Omitimos la latitud y la longitud del modelo porque las boyas del Fabricante D se concentran en el Pacífico oriental, lo que hace que los predictores espaciales sean poco fiables para clasificar las boyas que se desplazan fuera de esta región.

En primer lugar, dividimos los datos del fabricante D en conjuntos de entrenamiento (80 % de las boyas únicas) y de prueba (el 20 % restante) utilizando una división agrupada (es decir, dividiendo por ID de boya en lugar de por observación individual) para evitar que los datos de la misma boya aparecieran en ambos conjuntos. Redujimos la muestra de la clase mayoritaria en los datos de entrenamiento (en el agua) para lograr una proporción razonablemente equilibrada (aproximadamente 3:1) entre observaciones en el agua y en tierra. Para el ajuste de hiperparámetros, extrajimos una submuestra aleatoria del 25 % de las boyas de entrenamiento y aplicamos una validación cruzada agrupada de 5 pliegues, seleccionando el conjunto de parámetros que maximizaba el área bajo la curva de precisión-recuerdo (PR AUC), que es más apropiada que el AUC de la curva ROC para problemas de clasificación desequilibrados, ya que se centra en el rendimiento de la clase minoritaria (seco). A continuación, el modelo final se ajustó al conjunto de datos de entrenamiento completo reequilibrado utilizando los parámetros seleccionados. Evaluamos el rendimiento del modelo en el conjunto de prueba retenido y seleccionamos un umbral de probabilidad de clasificación que maximizara la precisión equilibrada (la media de la sensibilidad y la especificidad). A continuación, se aplicaron este modelo de clasificación y este umbral para predecir el estado húmedo/seco de todas las observaciones que carecían de una lectura del sensor de conductividad.

## **2.5 ALGORITMO DE SEGMENTACIÓN**

La combinación de las predicciones del modelo con los datos del Fabricante D nos proporciona una clasificación de húmedo/seco para las 79 365 811 observaciones. Sin embargo, no podemos dividir las observaciones de una boya individual en segmentos basándonos únicamente en el estado húmedo/seco. En algunos casos, la boya parece haber estado seca solo durante unas pocas horas o menos, sin movimiento sustancial, lo que no debería dar lugar a la creación de un nuevo segmento. En otros casos, faltan datos, por lo que, aunque dos observaciones secuenciales puedan ser ambas «húmedas», pueden estar separadas por una distancia o un intervalo de tiempo inverosímilmente grande, lo que sugiere que se produjo una recuperación y un nuevo despliegue entre transmisiones. Observamos que este podría ser más bien un segmento «basado en el DCP», diseñado para detectar retiradas significativas del agua. Incluso retiradas breves pueden ser suficientes para perturbar la comunidad de organismos e es asociados al DCP, por lo que un análisis más centrado en la ecología podría requerir un algoritmo de segmentación diferente.

Definimos un «segmento» como un único periodo continuo de una boya en el agua, desde el momento en que entra en el agua hasta que sale de ella, ya sea de forma permanente o durante un periodo de tiempo significativo. El algoritmo de segmentación funciona en tres etapas:

**Etapas 1 — Preprocesamiento.** Antes de identificar los puntos de ruptura, calculamos estadísticas resumidas para cada serie contigua de observaciones en seco dentro de una boya. Concretamente, acumulamos la distancia recorrida acumulada (en millas náuticas) y el tiempo transcurrido (en horas) durante cada serie de observaciones en seco. Estas distancias acumuladas se utilizan en la Etapa 2 para distinguir las retiradas estacionarias breves de los traslados significativos que indican un redespliegue.

---

<sup>8</sup> Véase el Glosario de términos de la sección 2.1 para consultar las definiciones.

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

**Etapa 2: Identificación de puntos de ruptura.** Al revisar las observaciones ordenadas cronológicamente de cada boya, marcamos un nuevo límite de segmento cada vez que se detecta cualquiera de estos tres escenarios:

1. **Largo silencio con desplazamiento.** Han transcurrido más de 50 días entre observaciones consecutivas y el desplazamiento supera la distancia máxima plausible de deriva pasiva (3 nudos por hora transcurrida $\times$ ). Una boya que reaparece dentro del rango de deriva plausible tras una interrupción en la transmisión se mantiene en el mismo segmento; aquella que reaparece demasiado lejos como para haber derivado de forma plausible se trata como un redespliegue. *Ejemplo: una boya transmite desde 5°S 160°O, permanece en silencio durante dos meses y luego reaparece en 2°N 140°O, mucho más allá de donde las corrientes ecuatoriales podrían haberla transportado pasivamente durante ese periodo de tiempo.*
2. **Movimiento inverosímil mientras está clasificada como «húmeda».** La boya está clasificada como «húmeda», pero se mueve más rápido de lo que permite la deriva pasiva, lo que indica transporte por embarcación. Aplicamos dos comprobaciones: (a) la velocidad supera un umbral (>5 nudos para boyas previstas, >10 nudos para boyas equipadas con sensores) con un desplazamiento de  $\geq 5$  nm; o (b) para boyas previstas, el desplazamiento desde la observación anterior supera la distancia máxima de deriva plausible (3 nudos $\times$  horas transcurridas). El umbral mínimo de desplazamiento en (a) evita falsas interrupciones debidas a la fluctuación del GPS. *Ejemplo: una boya clasificada como «húmeda» salta 15 nm en 3 horas (5 nudos), lo que concuerda con un barco de cerco que transporta un DCP entre lances, en lugar de una deriva pasiva.*
3.  **$\geq$ Evento significativo de salida del agua.** La boya fue retirada del agua y: (a) recorrió un total de 25 nm cumulativamente durante el periodo fuera del agua, detectado cuando vuelve al agua; o (b) permaneció en cubierta durante un total de 72 horas (3 días), detectado a mitad del recorrido. La comprobación (a) detecta los tránsitos del buque que terminan en un nuevo despliegue (deducido únicamente de la trayectoria de la boya —no se utiliza el VMS—); la comprobación (b) detecta períodos prolongados fuera del agua. Las retiradas estacionarias breves (por ejemplo, unas pocas horas en cubierta durante un lance) no activan una interrupción. *Ejemplo: una boya es recogida en 8°S 160°O, pasa cuatro días en un buque y es reubicada en 2°S 90°O — tanto la distancia (>25 nm) and duration (> 72 h) independently trigger a new segment.*

Cualquier observación en la que no se cumpla ninguna de estas condiciones no da lugar a un salto. La primera observación de cada boya nunca constituye un punto de salto.

**Etapa 3 — Aplicar inicio en agua.** Por definición, la primera observación de un segmento debe ser la entrada de la boya en el agua. Tras la pasada de segmentación inicial, se eliminan todas las observaciones en seco iniciales al comienzo de un segmento (es decir, las filas que preceden a la primera observación en agua). Los segmentos que no contienen ninguna observación en agua se descartan por completo. Esto garantiza que cada segmento retenido comience con una observación en agua que represente el evento de despliegue de la boya. La última observación de un segmento, por el contrario, puede ser en el agua (si la boya seguía a la deriva cuando cesaron las transmisiones) o en tierra (por ejemplo, si la boya fue recuperada o quedó varada). Los segmentos pueden seguir conteniendo observaciones en tierra en su interior (por ejemplo, retiradas breves que no alcanzaron los umbrales de 25 millas náuticas o 72 horas); estas se conservan como parte del segmento.

Tras la segmentación, definimos un marcador de «pesca activa» para cada observación dentro de un segmento. Todas las observaciones en el agua se marcan como activas. Para series contiguas de observaciones en tierra dentro de un segmento (es decir, retiradas breves que no provocaron una ruptura del segmento), solo se marca como activa la primera observación de cada serie en tierra; esta observación

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

representa el propio evento de recuperación o varada. Las observaciones en seco posteriores de la misma racha se marcan como inactivas (tiempo en cubierta, post-varamiento). Por último, se recortan las observaciones inactivas finales de cada segmento, de modo que cada segmento termine con una observación activa (ya sea la última observación en el agua o el evento en seco).

## 2.6 ANÁLISIS DE SEGMENTOS

Basándonos en los estados húmedo/seco previstos y en la segmentación, analizamos la dinámica de los segmentos. La ubicación de despliegue de cada segmento es la primera observación húmeda, y la ubicación de censura es la última observación<sup>9</sup>, ya sea húmeda o seca.

Para caracterizar la conectividad espacial (es decir, la ubicación final de los FAD desplegados), agrupamos las ubicaciones de despliegue y de censura en una cuadrícula regular de  $5^\circ \times 5^\circ$ . Para cada celda de despliegue, calculamos el desplazamiento medio hasta la ubicación de censura (mostrado como flechas de deriva en la Figura 13) y la distribución de probabilidad completa sobre las celdas de destino de censura (Figura 14, filtrada a las celdas que representan el 95 % de las ubicaciones finales).

## 2.7 FILTRADO POR TRUNCAMIENTO

La base de datos de seguimiento por satélite tiene límites temporales fijos, lo que introduce dos fuentes de sesgo en los análisis de destino. **El truncamiento a la derecha** afecta a las boyas desplegadas cerca del final de la base de datos: una boya que no ha sido rastreada durante el tiempo suficiente no ha tenido tiempo suficiente para que se observe su vida útil. Establecimos el umbral de truncamiento a la derecha en el percentil 75 de las vidas útiles observadas de las boyas (véase Resultados), excluyendo cualquier boya cuya primera observación se situara dentro de ese intervalo del final de la base de datos. **El truncamiento a la izquierda** afecta a las boyas que ya estaban activas cuando comienza la base de datos: no se observó su evento de despliegue, por lo que se desconocen su ubicación de despliegue y su trayectoria completa. Marcamos las boyas cuya primera observación se situaba dentro de los 7 días siguientes a la fecha de inicio de la base de datos y cuya clasificación inicial era «húmeda», lo que indicaba que probablemente se encontraban en pleno despliegue cuando comenzó el seguimiento, en lugar de recién desplegadas. Ambas marcas se aplicaron a nivel de boya y se propagaron a todas las observaciones, de modo que las tablas de destino posteriores, los modelos espaciales y las estadísticas resumidas se limitaron a las boyas con mayor probabilidad de que su trayectoria completa quedara capturada dentro de la ventana de la base de datos.

## 2.8 PATRONES ESPACIALES

Utilizamos sdmTMB para ajustar modelos lineales generalizados (GLM) binomiales espacio-temporales con el fin de modelar la probabilidad de que la observación final de una boya fuera «en seco» en función de la ubicación. Los modelos incluyen un efecto fijo de solo intersección con un campo aleatorio espacial anisotrópico estimado mediante aproximación de malla SPDE, utilizando una familia binomial con enlace logit. Se ajustaron modelos separados utilizando las ubicaciones de despliegue y censura para identificar la variación espacial en la probabilidad de recuperación en toda el área de estudio.

---

<sup>9</sup> Véase el Glosario de términos de la sección 2.1 para consultar las definiciones.

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

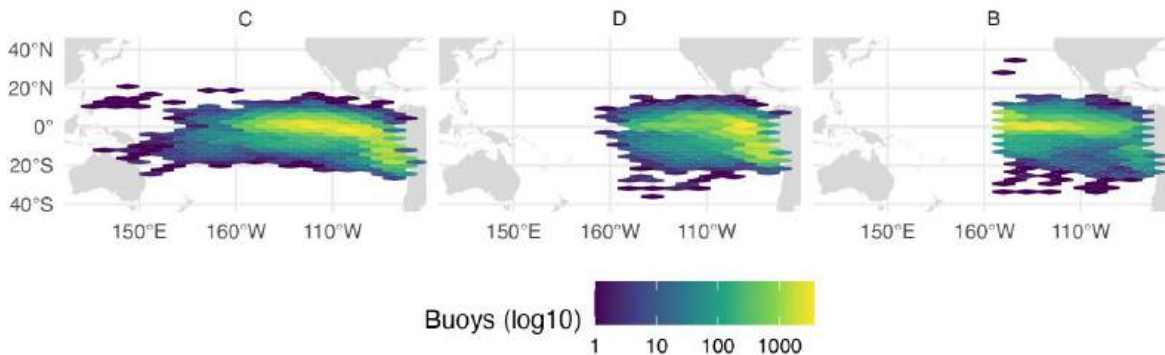
### 3. RESULTADOS

#### 3.1 FILTRADO DE DATOS

De los 135 306 identificadores únicos de boyas en los datos brutos, 134 877 (99,7 %) permanecieron en el análisis tras el filtrado de tierra y la limpieza de velocidades. De estas, 23 310 (17,3 %) se excluyeron debido a truncamiento a la derecha (desplegadas en los 267 días posteriores al final de la base de datos, tiempo insuficiente para observar su destino) y 9540 (7,1 %) debido a truncamiento a la izquierda (ya en el agua al inicio de la base de datos, por lo que no se observó su despliegue inicial en el agua). Como resultado, se incluyeron 100 474 (74,5 %) boyas elegibles para el análisis posterior.

#### 3.2 DISTRIBUCIÓN POR FABRICANTE

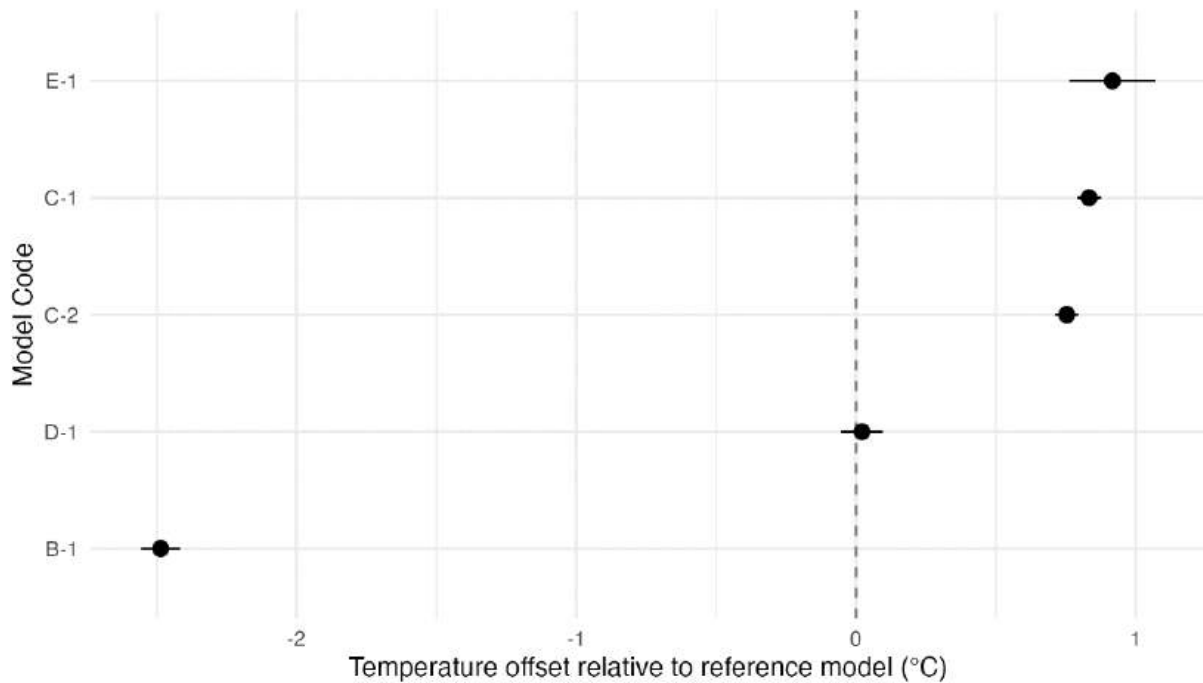
Se observaron patrones espaciales claros en la distribución de las boyas fabricadas por diferentes empresas. Las boyas del fabricante C fueron las que presentaron una distribución más amplia en el océano Pacífico oriental y occidental. La transmisión de las boyas de los fabricantes B y D se interrumpió o no se registró en la mayoría de las boyas situadas al oeste de la zona de la Convención de la CIAT ([Figura 1](#)).



**FIGURA 1.** Distribución espacial de los despliegues de boyas por fabricante. Cada panel muestra una densidad agrupada en hexágonos de las ubicaciones de despliegue de un único fabricante. Solo se utiliza la ubicación de despliegue (primera puesta en el agua) de cada boya. Las boyas se agrupan por fabricante de alto nivel (por ejemplo, todos los submodelos de un fabricante determinado se agrupan en un solo panel).

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

El modelo espacio-temporal produce desviaciones de temperatura específicas por fabricante (Figura 2). Estas desviaciones representan la diferencia sistemática en la temperatura del agua reportada para cada fabricante en relación con el modelo de referencia, tras controlar la ubicación espacial y el año-mes.



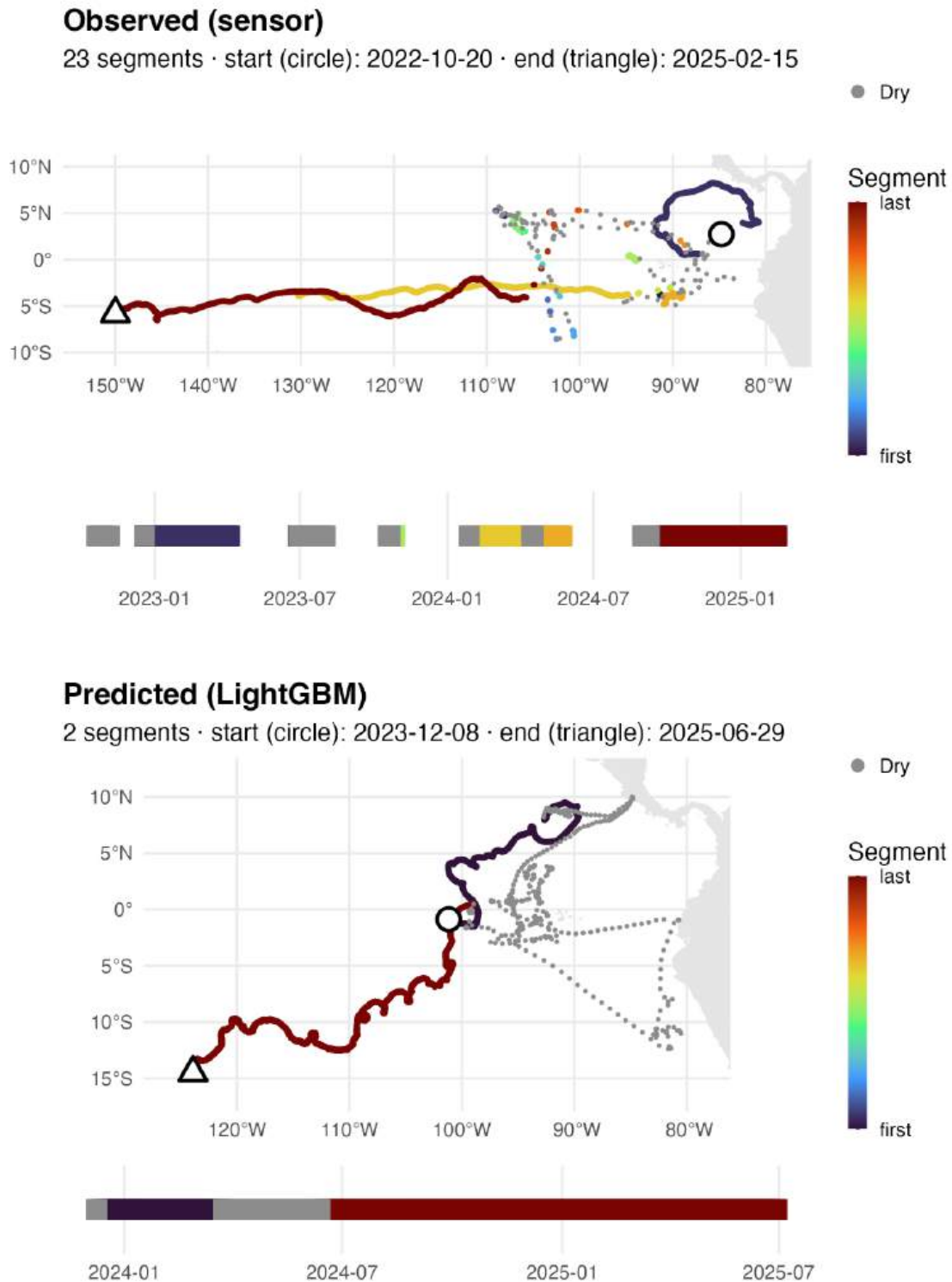
**FIGURA 2.** Efectos estimados de los fabricantes sobre la temperatura del agua comunicada en relación con el submodelo de referencia (Fabricante D), controlando la variación espacial y temporal mediante un campo aleatorio espacio-temporal. Los valores positivos indican que los sensores del fabricante comunican temperaturas más cálidas que la referencia del Fabricante D en la misma ubicación y momento.

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

### **3.3 CLASIFICACIÓN HÚMEDO/SECO**

En [la Figura 3](#) se muestran ejemplos de trayectorias de boyas coloreadas según su estado húmedo/seco: el panel izquierdo muestra el estado observado por un sensor de conductividad del Fabricante D, y el panel derecho muestra el estado previsto por el modelo.

Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.



**FIGURA 3.** Ejemplo de trayectoria de boya que ilustra cómo el algoritmo de segmentación divide las observaciones de una sola boya en despliegues. Cada punto es una observación, trazada en su

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

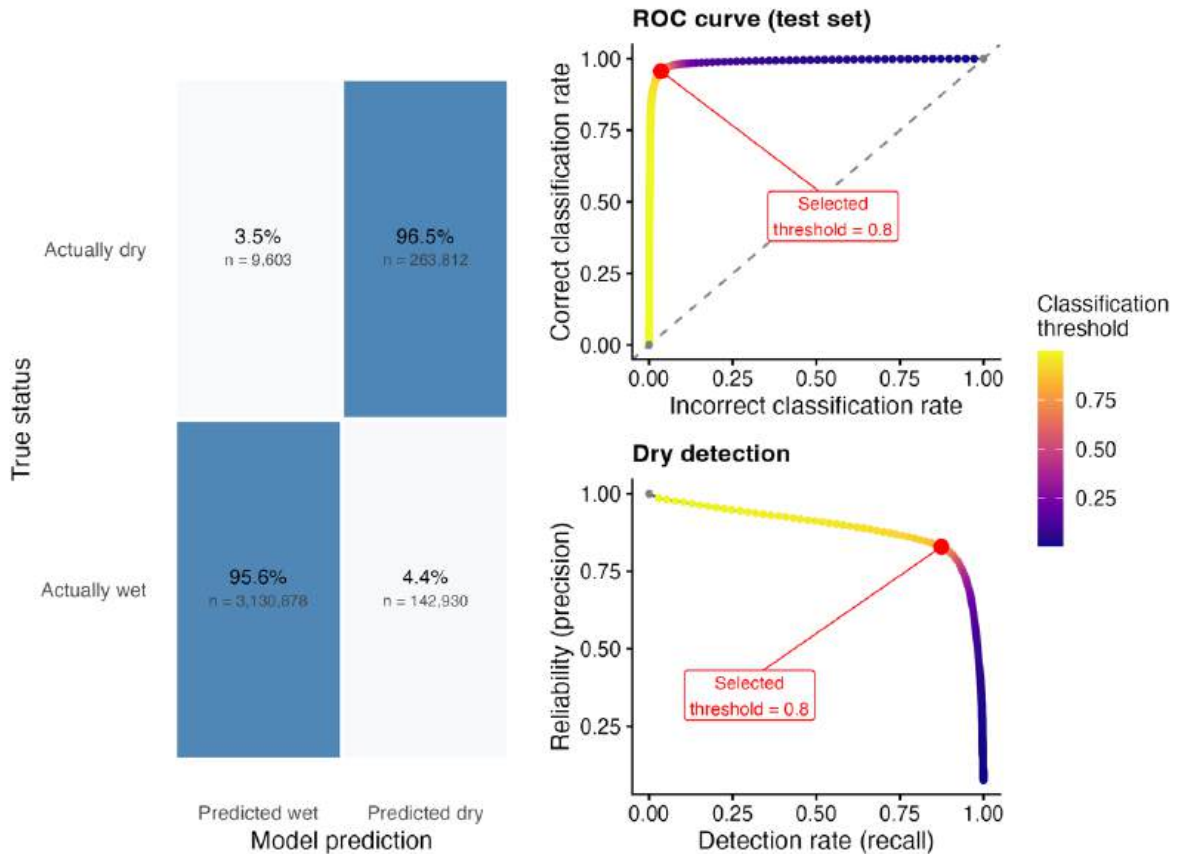
posición reportada. Los puntos de color pertenecen a un segmento de despliegue, con un degradado de color que va del morado oscuro (el más temprano) al rojo (el más tardío) dentro de ese segmento. Los puntos grises son observaciones marcadas como «secas»: normalmente el tránsito previo al despliegue, el arrastre posterior a la recuperación o períodos prolongados en seco que provocaron una ruptura del segmento. Un círculo blanco marca la primera observación de la boya en general y un triángulo blanco la última, indicando la dirección del desplazamiento. La franja situada debajo del mapa muestra la misma codificación de colores «húmedo/seco» a lo largo del eje temporal (color = húmedo, gris = seco).

El modelo de detección de mojado/seco funcionó bien en las boyas de prueba no utilizadas (Figura 4). En el umbral seleccionado (0,8, elegido para maximizar la precisión equilibrada), el modelo clasificó correctamente el 96,5 % de las observaciones *secas* verdaderas y el 95,6 % de las observaciones *húmedas* verdaderas. De los errores, se pasó por alto el 3,5 % de las observaciones *secas* verdaderas (clasificadas como húmedas), y el 4,4 % de las observaciones húmedas verdaderas se marcaron incorrectamente como secas en los datos de prueba excluidos del entrenamiento del modelo.

La curva ROC (AUC = 0,99) resume el equilibrio entre la detección correcta de cada clase en todos los umbrales posibles; un AUC de 1 indicaría una separación perfecta. Dado que las observaciones secas son relativamente escasas (~8 % del conjunto de prueba), también presentamos una curva de precisión-recuerdo para la detección de condiciones secas (Figura 4, abajo a la derecha). Esta curva muestra cómo se equilibran estas dos magnitudes a medida que cambia el umbral de clasificación. El eje x («tasa de detección») es la fracción de todas las observaciones verdaderamente secas que el modelo identifica con éxito. El eje y («fiabilidad») es la fracción de observaciones marcadas como secas que son verdaderamente secas. En el extremo izquierdo de la curva, el modelo solo marca las observaciones de las que está muy seguro: encuentra pocas observaciones secas, pero casi siempre acierta cuando lo hace. En el extremo derecho, el modelo marca de forma agresiva para captar todas las observaciones secas, pero muchas de esas marcas son falsas alarmas en observaciones húmedas. Un buen modelo mantiene una alta fiabilidad incluso a medida que aumenta la tasa de detección (es decir, la curva se acerca a la esquina superior derecha). La fiabilidad de un modelo deficiente se derrumbaría inmediatamente. Nuestro modelo mantuvo una alta fiabilidad en la mayor parte del rango de detección, cayendo solo cuando se le obligaba a encontrar las últimas y más ambiguas observaciones secas.

El rendimiento fue consistente en todas las boyas individuales del conjunto de prueba. La precisión equilibrada —la media de la tasa de clasificación correcta para las observaciones húmedas y la tasa de clasificación correcta para las observaciones secas, de modo que ambas clases contribuyen por igual independientemente del tamaño de la muestra— tuvo un valor mediano por boya de 0,97, y solo el 1,5 % de las boyas cayó por debajo de una precisión equilibrada de 0,70.

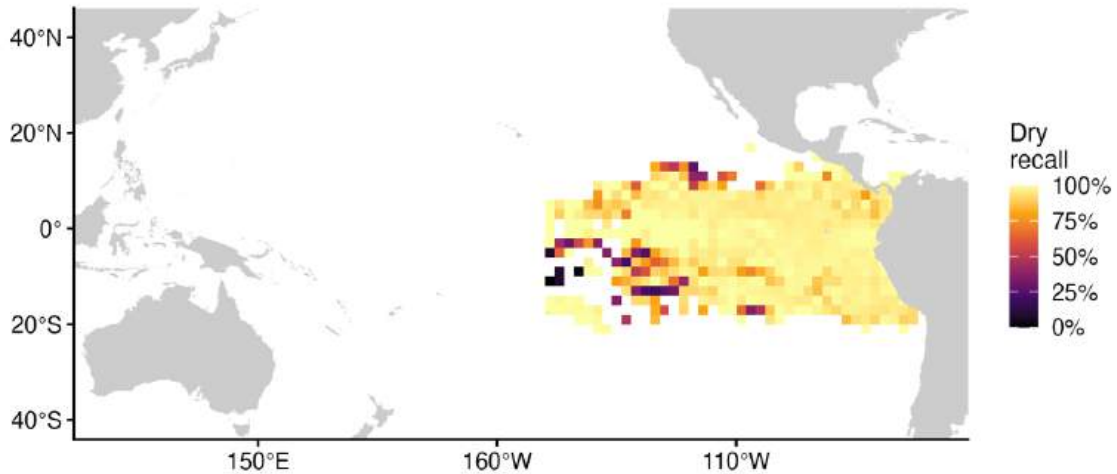
Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.



**FIGURA 4.** Izquierda: Tasas de clasificación en las boyas de prueba no incluidas. Los valores de las celdas muestran la proporción de cada clase verdadera asignada a cada clase prevista. Arriba a la derecha: Curva ROC que resume la discriminación general. Abajo a la derecha: tasa de detección frente a fiabilidad para la clasificación de tiempo seco (curva de precisión-recuerdo).

Dado que la latitud y la longitud se excluyeron deliberadamente del modelo, es posible que existan sesgos espaciales (Figura 5). Teniendo en cuenta que los datos presentan un desequilibrio considerable, nos centramos en los patrones espaciales en la capacidad de detectar la clase minoritaria (seco). El modelo tendía a pasar por alto los eventos secos en los extremos del dominio espacial, especialmente en el suroeste de los datos de entrenamiento, aunque la recuperación no fue uniformemente deficiente en esta región. Estos patrones espaciales ponen de manifiesto que el modelo puede generar predicciones incorrectas en algunas regiones.

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

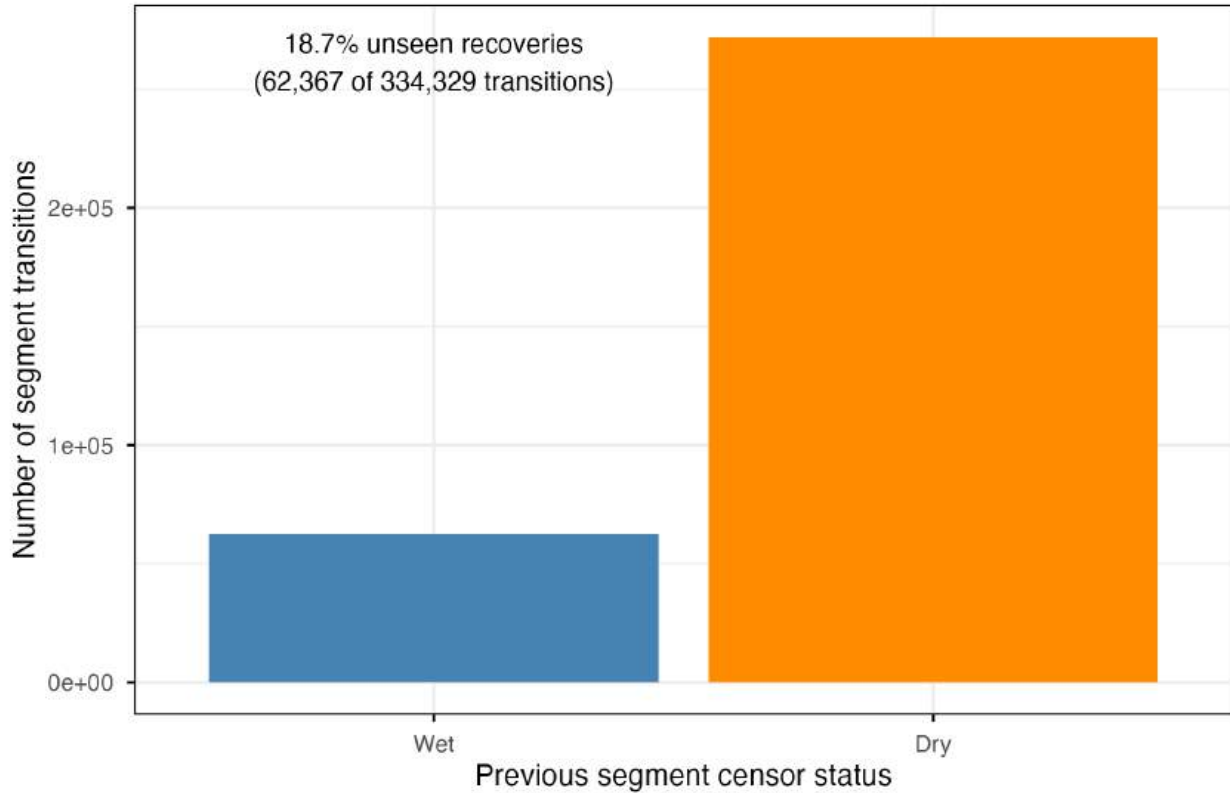


**FIGURA 5.** Recuperación (sensibilidad) del modelo de detección húmedo/seco para observaciones secas en el conjunto de prueba, agrupadas en celdas de cuadrícula de 2° (mínimo de 10 observaciones secas por celda). Se omitieron las celdas con muy pocas observaciones de la clase minoritaria (secas).

### 3.3.1 EVENTOS DE RECUPERACIÓN NO OBSERVADOS

Un segmento verdaderamente nuevo (aparte del primer segmento de una boya) solo puede comenzar después de que el segmento anterior haya finalizado con la recuperación de una boya del agua, es decir, cuando la boya estaba seca. Si, en cambio, la última observación del segmento anterior se clasificó como húmeda, debe haber ocurrido una de estas cuatro cosas: (a) la recuperación se produjo durante un período de censura, o en un área/período en el que no se compartieron datos con la CIAT; (b) el evento de recuperación era visible en los datos utilizados por el modelo, pero fue clasificado erróneamente como «mojado» por el modelo; (c) el algoritmo de segmentación dividió erróneamente un único despliegue continuo en dos segmentos; o (d) la recuperación y el nuevo despliegue tuvieron lugar entre transmisiones de satélite (es decir, boya censurada, pérdida de señal), por lo que el modelo nunca pudo detectar una observación «seca». Por lo tanto, el recuento de nuevos segmentos cuyo segmento anterior terminó en «húmedo» proporciona una medida aproximada de la frecuencia con la que no se captan correctamente las recuperaciones durante la vida útil, combinando recuperaciones omitidas, clasificaciones erróneas del modelo, lagunas espaciales en la cadencia de muestreo y divisiones espurias de segmentos.

Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.



**FIGURA 6.** Estado húmedo/seco al final de cada segmento anterior a un nuevo segmento en la misma boya. Los segmentos que terminaron en estado húmedo antes de que comenzara un nuevo segmento indican un evento de recuperación no observado (es decir, la boya fue retirada y reimplementada sin que la detección de húmedo/seco del modelo detectara la transición).

De las 334 329 transiciones de segmentos durante la vida útil, 62 367 (18,7 %) siguieron a un segmento cuya observación final se clasificó como «húmedo». Desglosar esta tasa según la fuente de esa observación final resulta informativo: entre las transiciones en las que el segmento anterior terminó con una observación medida directamente (Fabricante D), el 35,8 % terminó en «húmedo», frente a solo el 13 % de las observaciones predichas por el modelo.

La tasa del Fabricante D no depende de ningún modelo, por lo que el 35,8 % solo puede reflejar las causas (a), (c) y (d); dado que no hay modelo, la causa no puede ser una clasificación errónea del modelo (aunque podría ser un error del sensor de temperatura). La causa (c) —segmentación espuria de un despliegue continuo— requeriría superar los umbrales acumulativos de la regla de cubierta ( $\geq 25$  nm de deriva o  $\geq 72$  horas) durante un período genuinamente ininterrumpido de «húmedo a húmedo», lo cual es poco probable que ocurra con frecuencia. Por lo tanto, la mayor parte de la tasa del Fabricante D es atribuible a (a) y (d): recuperaciones que se producen cuando la boya está censurada, durante un lapso en el intercambio de datos de la CIAT, o simplemente entre transmisiones satelitales o una posible pérdida de señal (poco frecuente). Dado que la tasa prevista por el modelo es inferior a la tasa del fabricante D, se descarta la causa (b) —clasificación errónea del modelo— como principal factor determinante del 18,7 % global; de lo contrario, la tasa de la fuente prevista superaría la tasa del fabricante D y no sería inferior a ella.

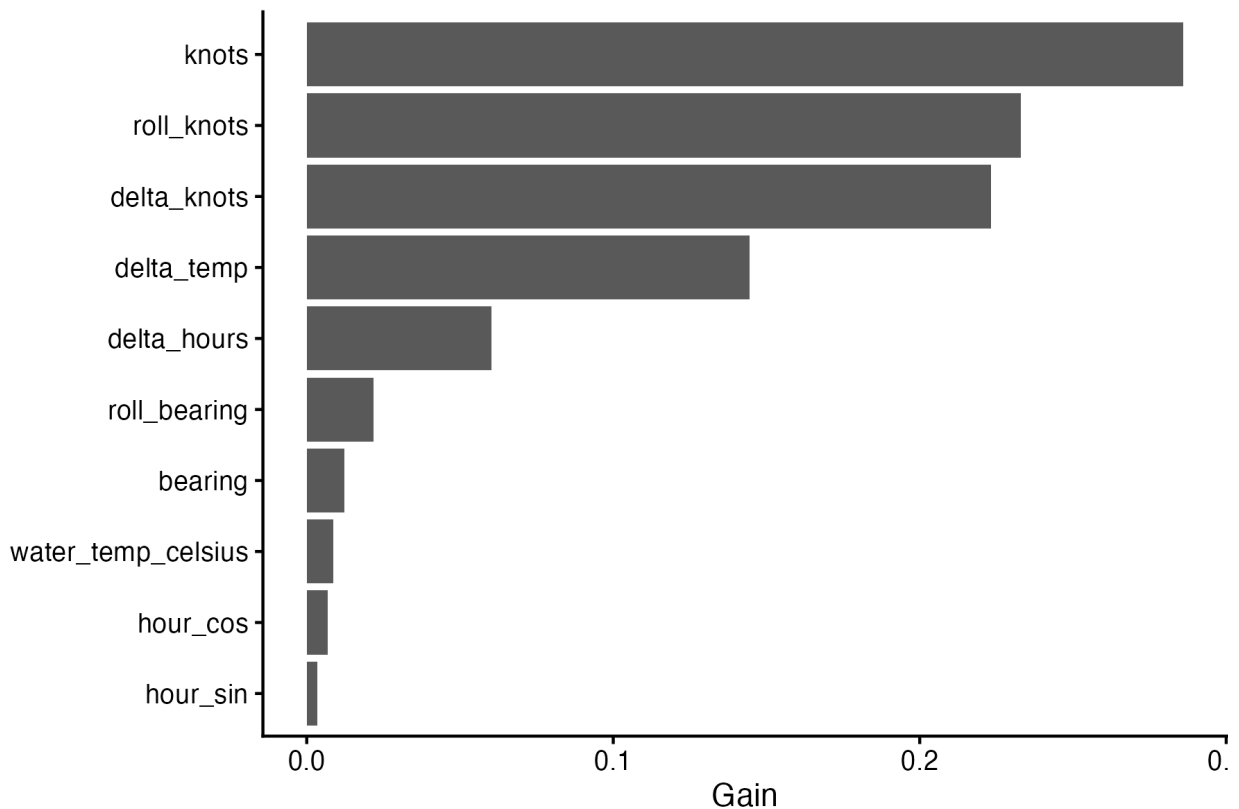
Estas tasas dentro del ciclo de vida no deben interpretarse como un límite inferior de la frecuencia con la que la lectura en húmedo terminal (al final de la vida útil) de una boya oculta una recuperación no

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

notificada. El diagnóstico capta las interacciones durante la fase de uso activo de la vida de una boya — normalmente mientras se encuentra dentro de los caladeros principales, donde las boyas se manipulan con mayor frecuencia. Las observaciones terminales proceden de una fase posterior del ciclo de vida de las mismas boyas: muchas han derivado fuera de las zonas de pesca principales, donde las oportunidades de recuperación son mucho menores. Por lo tanto, las tasas de interacción observadas durante la fase de uso activo no se traducen directamente a la fase terminal. La tasa de vida útil intra e se interpreta mejor como un diagnóstico de si el modelo y el algoritmo de segmentación pueden detectar recuperaciones mientras una boya se está utilizando activamente, no como una estimación de la frecuencia con la que las lecturas «wet» terminales ocultan una recuperación no observada. Sin embargo, confirma que se producen recuperaciones no observadas.

### 3.3.2 IMPORTANCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL MODELO HÚMEDO/SECO

Los nudos (es decir, la velocidad) (de balanceo, bruta y de cambio) fueron los predictores más importantes del modelo de detección de húmedo/seco, seguidos por el cambio de temperatura y el intervalo de notificación de la boya (delta\_hours) (Figura 7).

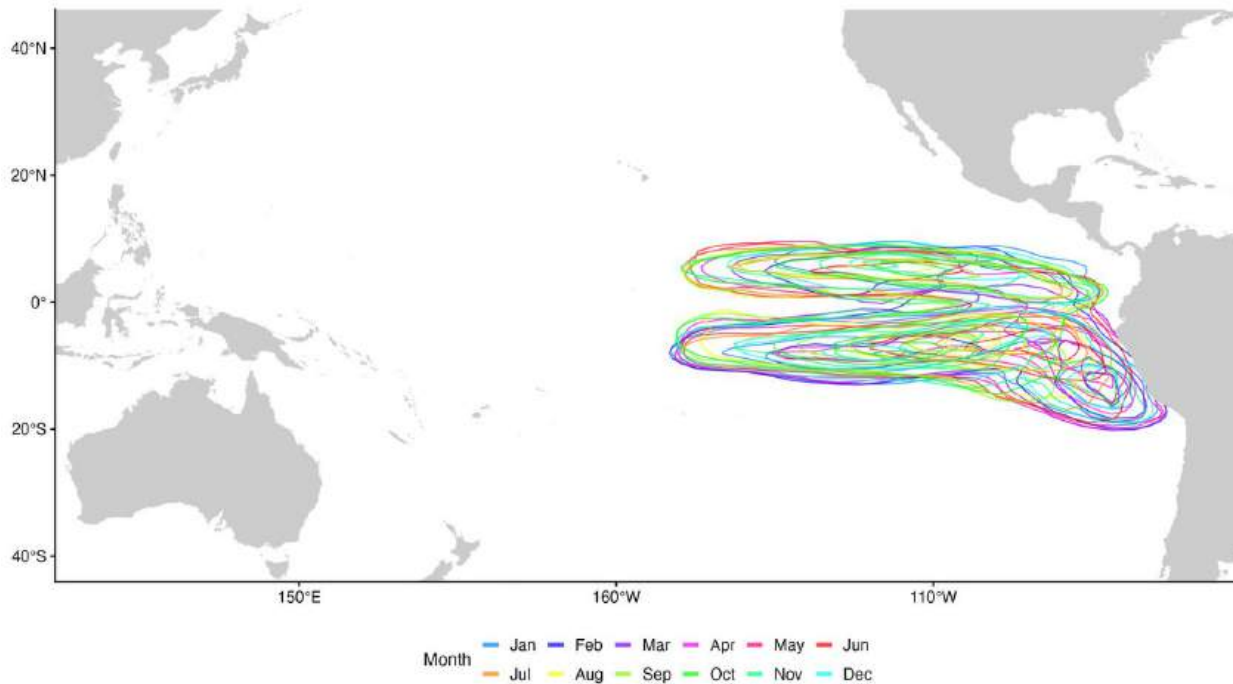


**FIGURA 7.** Importancia de las características para el modelo de detección de mojado/seco. Las barras muestran la ganancia total atribuible a cada predictor en todas las divisiones del árbol; las barras más largas indican los predictores con mayor influencia en la clasificación.

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

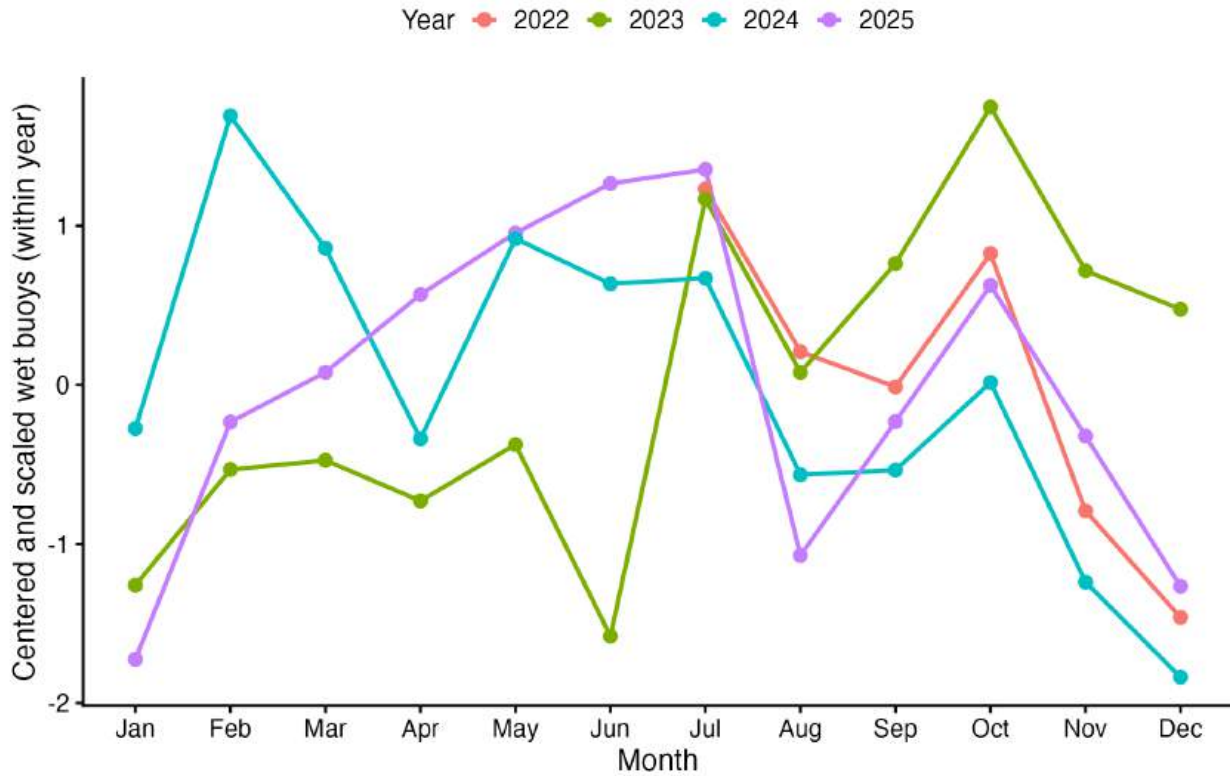
### 3.4 DINÁMICA DE LA VIDA ÚTIL DE LAS BOYAS

La densidad espacial de las observaciones de inmersión se mantuvo bastante constante a lo largo de los meses, con poca variación estacional en las ubicaciones de despliegue (Figura 8). La tendencia a que las boyas sean censuradas en torno a la frontera de la convención de la CIAT es evidente en todos los meses (cabe señalar que los datos fuera del Área de la Convención no siempre se comunican, lo que puede afectar a las estimaciones). La distribución general de los despliegues de boyas se mantuvo estable a lo largo del tiempo, aunque los despliegues cerca de la costa de Perú aumentaron ligeramente en marzo y abril (Figura 9).



**FIGURA 8.** Contornos de densidad espacial de las observaciones de las boyas de inmersión por mes, superpuestos en un único mapa. Cada color representa un mes. La superposición casi completa de las líneas de contorno indica una variación estacional mínima en los patrones de despliegue.

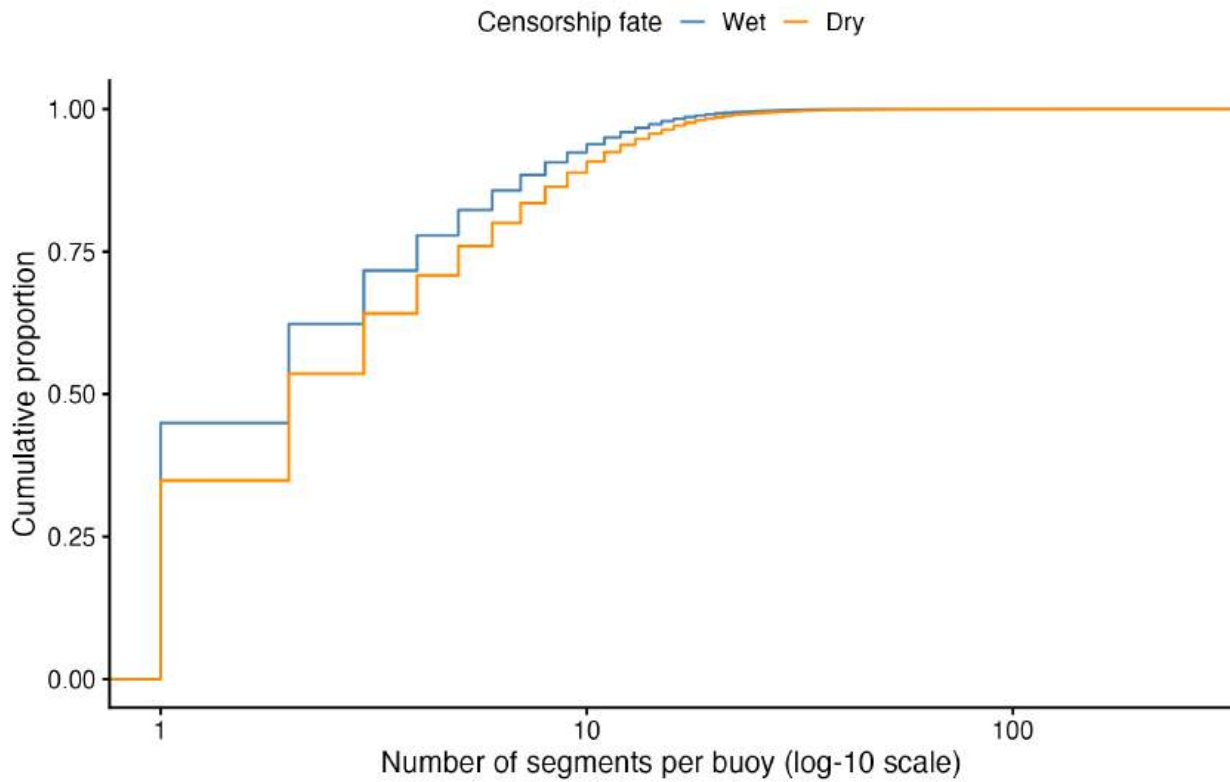
Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.



**FIGURA 9.** Boyas mojadas únicas por mes, centradas y escaladas dentro de cada año para que los patrones estacionales sean directamente comparables entre años con diferentes tamaños de flota. Se excluyen los meses de enero a junio de 2022 debido a un truncamiento a la izquierda: los datos de seguimiento comienzan en 2022, por lo que las boyas ya desplegadas antes del periodo de observación están infrarrepresentadas hasta mediados de año.

La gran mayoría de las boyas tenían entre 1 y 10 segmentos por boya (la presencia de múltiples segmentos indica la recuperación y el redespigüe en un nuevo lugar y momento, es decir, la reutilización), y las boyas cuya observación final fue «húmeda» eran ligeramente más propensas a tener menos segmentos (Figura 10).

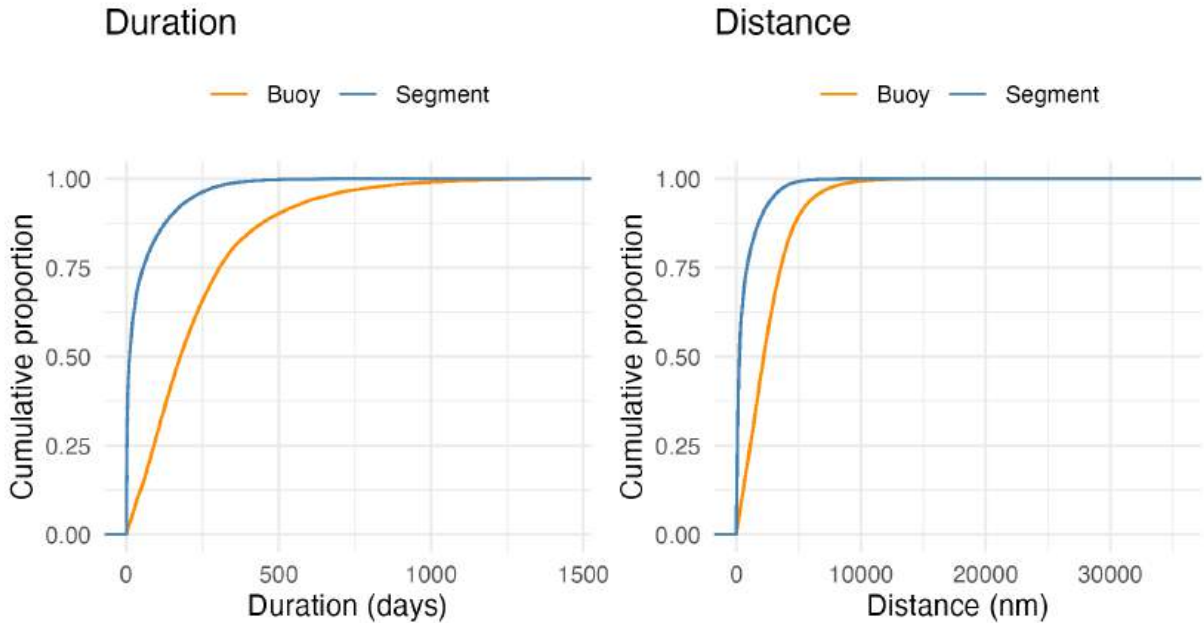
Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.



**FIGURA 10.** Distribución de segmentos por boya, según el destino de la censura definido como el estado «mojado/seco» de la observación final de una boya.

La mediana de los segmentos fue de 10 días de tiempo de inmersión, cubriendo 238 millas náuticas. La mediana de las boyas estuvo sumergida durante un total de 177 días, cubriendo un total de 2204 millas náuticas (Tabla 1, Figura 11).

Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.



**FIGURA 11.** Distribución acumulativa de la duración de inmersión activa y la distancia recorrida a nivel de segmento (despliegues individuales) y a nivel de boya (total de todos los segmentos); restringida a las boyas elegibles por destino.

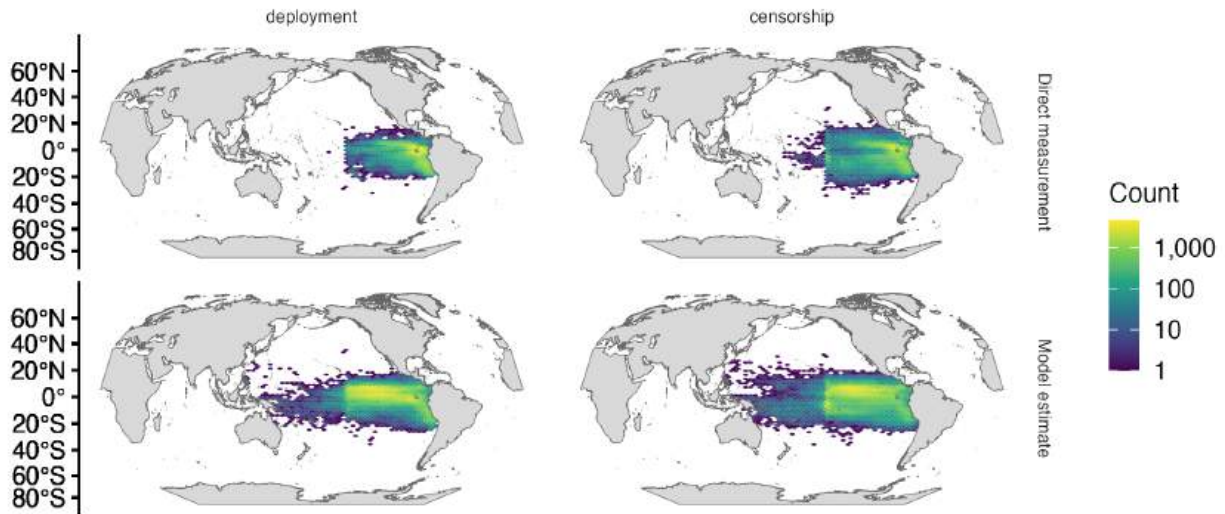
**Tabla 1. Resumen estadístico de la duración de la pesca activa y la distancia a nivel de segmento y de boya. Los valores brutos son la mediana; los valores medios figuran entre paréntesis.**

Nivel	N	Duración (días)	Distancia (millas náuticas)
Segmento	370 332	10 (47)	238 (700)
Boya	100 474	177 (231)	2204 (2582)

### 3.4.1 PATRONES ESPACIALES

Las ubicaciones de censura tendían a darse más al oeste que las ubicaciones de despliegue, en consonancia con un patrón general de deriva ecuatorial hacia el oeste. Las boyas con sensores de húmedo/seco (estado húmedo/seco observado) tenían ubicaciones de despliegue y censura concentradas en el Pacífico oriental, mientras que las ubicaciones de las boyas sin sensor de húmedo/seco (estado húmedo/seco previsto) se extendían más al oeste, lo que refleja el mayor alcance geográfico sobre el que las boyas que carecían de sensor de conductividad continuaron transmitiendo (Figura 12).

Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.

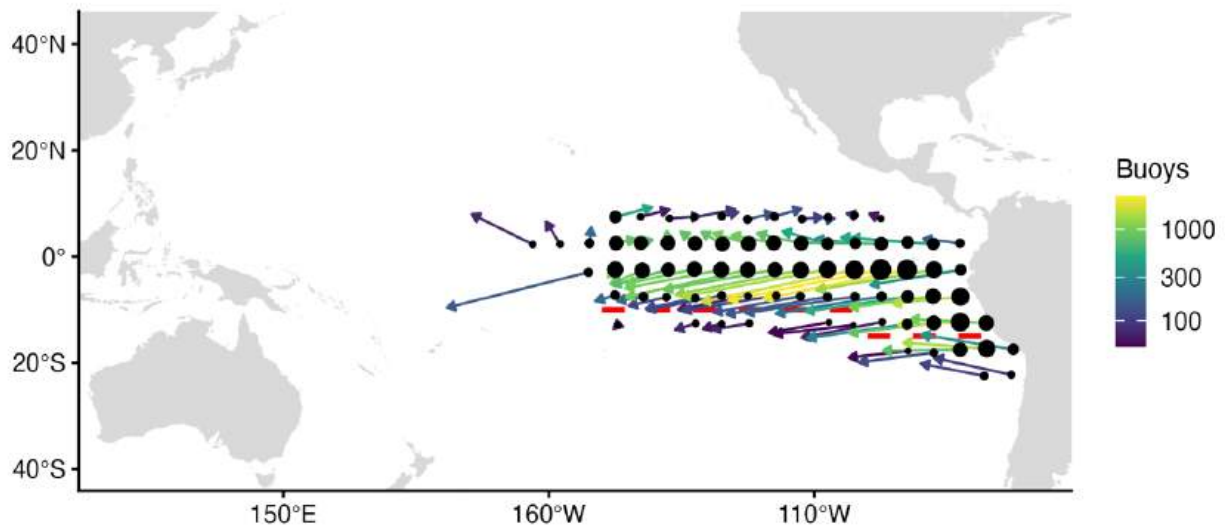


**FIGURA 12.** Densidad espacial de las ubicaciones de despliegue y censura por fuente húmeda/seca (observada mediante el sensor de conductividad del fabricante D frente a la prevista por el modelo).

El desplazamiento medio de las boyas en cada celda de despliegue de  $5^\circ$  se muestra mediante flechas de deriva (Figura 13). Cada flecha parte del centro de una celda de despliegue y apunta hacia la ubicación media de censura de las boyas desplegadas en esa celda. Tenga en cuenta que esto no significa que todas las boyas sigan esta trayectoria, sino que se trata simplemente de la trayectoria media. Las distribuciones de destinos de censura de las celdas de despliegue mejor muestreadas, ordenadas por número de boyas, ofrecen una visión más matizada de las trayectorias (Figura 14). Cada faceta muestra una celda de despliegue de boyas (contorno rojo) y las celdas de  $5^\circ$  donde esas boyas fueron finalmente censadas, filtradas al 95 % superior de destinos. Estos gráficos solo incluyen boyas de un solo segmento, para evitar la confusión derivada de las boyas recuperadas y redespuestas en nuevas ubicaciones. Obsérvese también que estos patrones espaciales son una función tanto de los patrones oceanográficos como de los

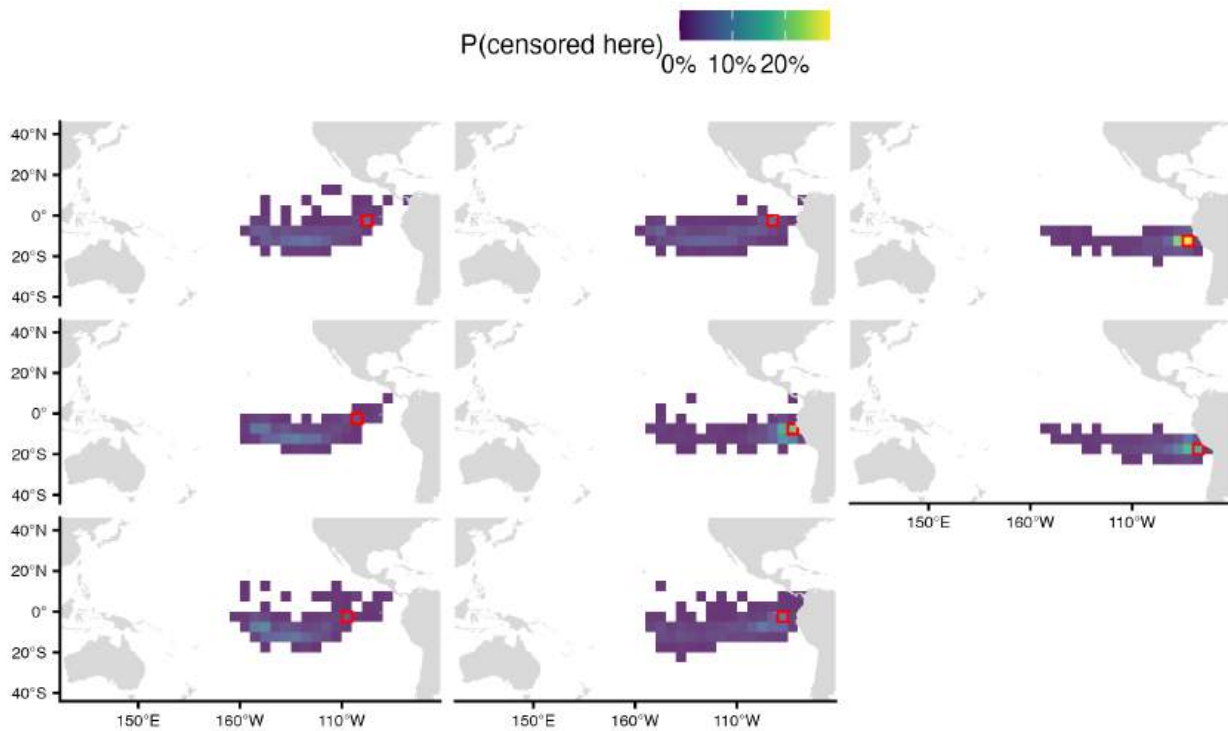
*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

patrones de comportamiento de la flota. Por ejemplo, la Resolución C-25-01 establece que las boyas pueden desactivarse cuando se desplazan fuera del caladero, por ejemplo, al sur de los 10°S entre los 150°O y los 100°O, y al sur de los 15°S al este de los 100°O, las líneas discontinuas rojas de la Figura 13. Observamos que las trayectorias medias también parecen terminar en estas líneas; esto no refleja necesariamente que las boyas se hundan o sean recuperadas exactamente al cruzar al sur de estos límites, sino más bien que la CIAT deja de recibir transmisiones de las boyas que se desplazan al sur de estas líneas. Se desconoce el destino final de estas boyas más allá de estos límites.



**FIGURA 13.** Vectores medios de deriva de las boyas por celda de despliegue de 5° para boyas de un solo segmento únicamente. Las flechas apuntan desde el centro de la celda de despliegue hacia la ubicación media de la boya. El tamaño del punto indica el número de boyas. Las líneas discontinuas marcan el límite sur de la zona de pesca de boyas satelitales C-25-01 (10°S entre 150°O y 100°O; 15°S al este de 100°O).

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

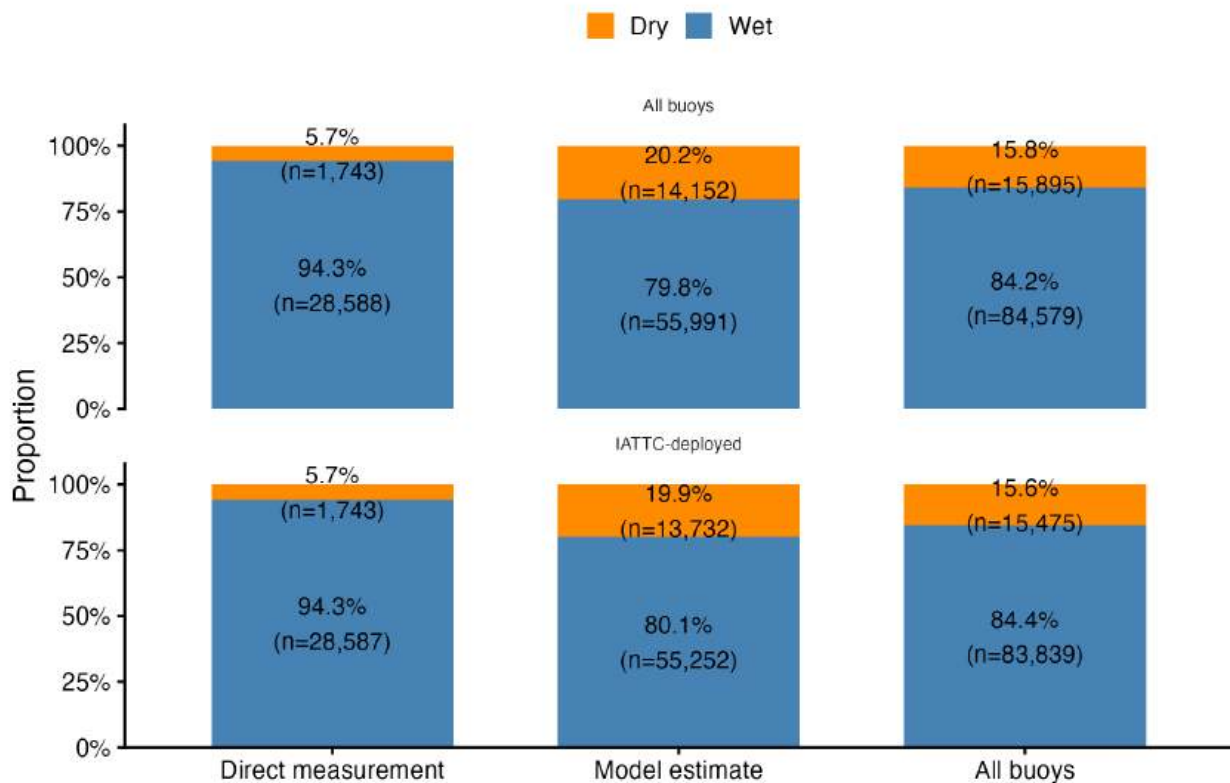


**FIGURA 14.** Distribución de los destinos de los sensores por celda de despliegue de 5° solo para boyas de un solo segmento (contorno rojo). El relleno muestra la proporción de boyas de esa celda de despliegue censuradas en cada celda de destino.

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

### 3.4.2 ESTADO FINAL (MOJADO/SECO) POR BOYA

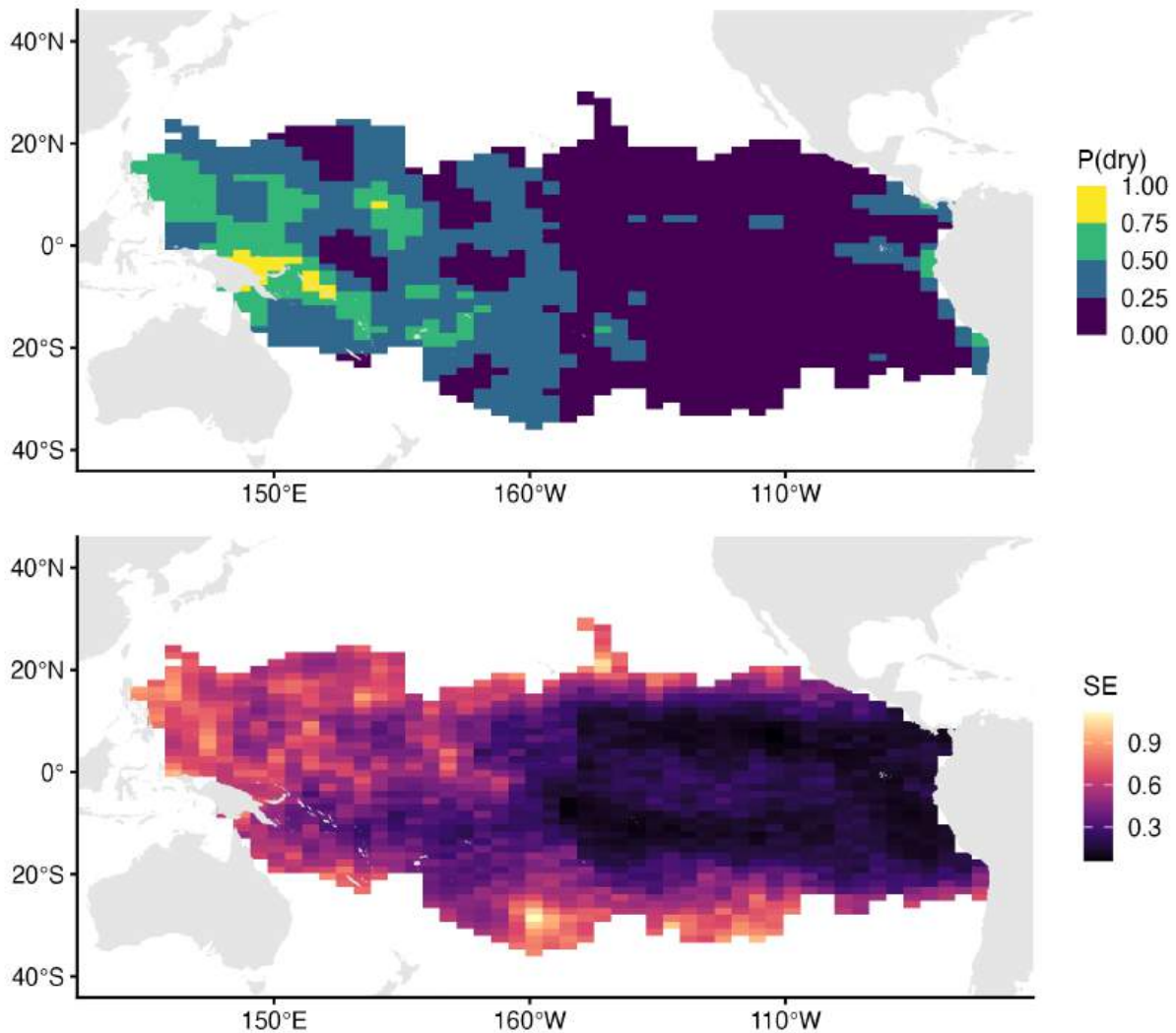
Nuestro enfoque analiza si la observación final de un segmento o boya dado fue en estado húmedo o seco. Una observación final en estado húmedo indica que la boya aún estaba sumergida la última vez que la CIAT recibió información. Esto significa que no observamos una recuperación o un varamiento (es decir, aunque podría ocurrir con una boya censurada; no conocemos el destino final de la boya). Una observación terminal en seco indica que la boya fue observada por última vez en estado seco, p. ej., transmitiendo desde la cubierta de un buque o desde un lugar de varada (teniendo en cuenta que, en el caso de las boyas con sensores del Fabricante D, también puede darse una clasificación de «húmeda» si la boya está varada pero su sensor permanece sumergido; el modelo húmedo/seco, que depende tanto de la señal del agua como del movimiento, clasificaría generalmente como seca una boya varada que no está a la deriva). En general, se estimó u observó que alrededor del 84 % de las observaciones finales de las boyas eran «húmedas», y alrededor del 16 % «secas» en el momento de la censura (Figura 15).



**FIGURA 15.** Estado «húmedo/seco» en la observación final de cada boya, por fuente de datos «húmedo/seco» y región de despliegue. El grupo «desplegadas por la CIAT» incluye únicamente boyas cuya primera observación se realizó al este de los 150° O.

Examinamos cómo variaban espacialmente estos patrones de destino en el momento de la censura. Las boyas cuya última observación se realizó en las regiones orientales de alta mar del área de la Convención de la CIAT tenían una probabilidad muy baja de estar en tierra en su observación final (lo que significa que casi todas fueron vistas por última vez a la deriva). La probabilidad de un destino en seco fue mayor cerca de las costas, tanto a lo largo de las costas de América Central y del Sur como de las Galápagos, en ciertas zonas de la Polinesia Francesa, y aumentó al oeste de la zona del Convenio de la CIAT, particularmente a lo largo de las costas y las islas del Pacífico occidental. Sin embargo, cabe señalar que la incertidumbre es mayor en el Pacífico occidental debido al menor tamaño de las muestras en esta región (Figura 16).

Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.

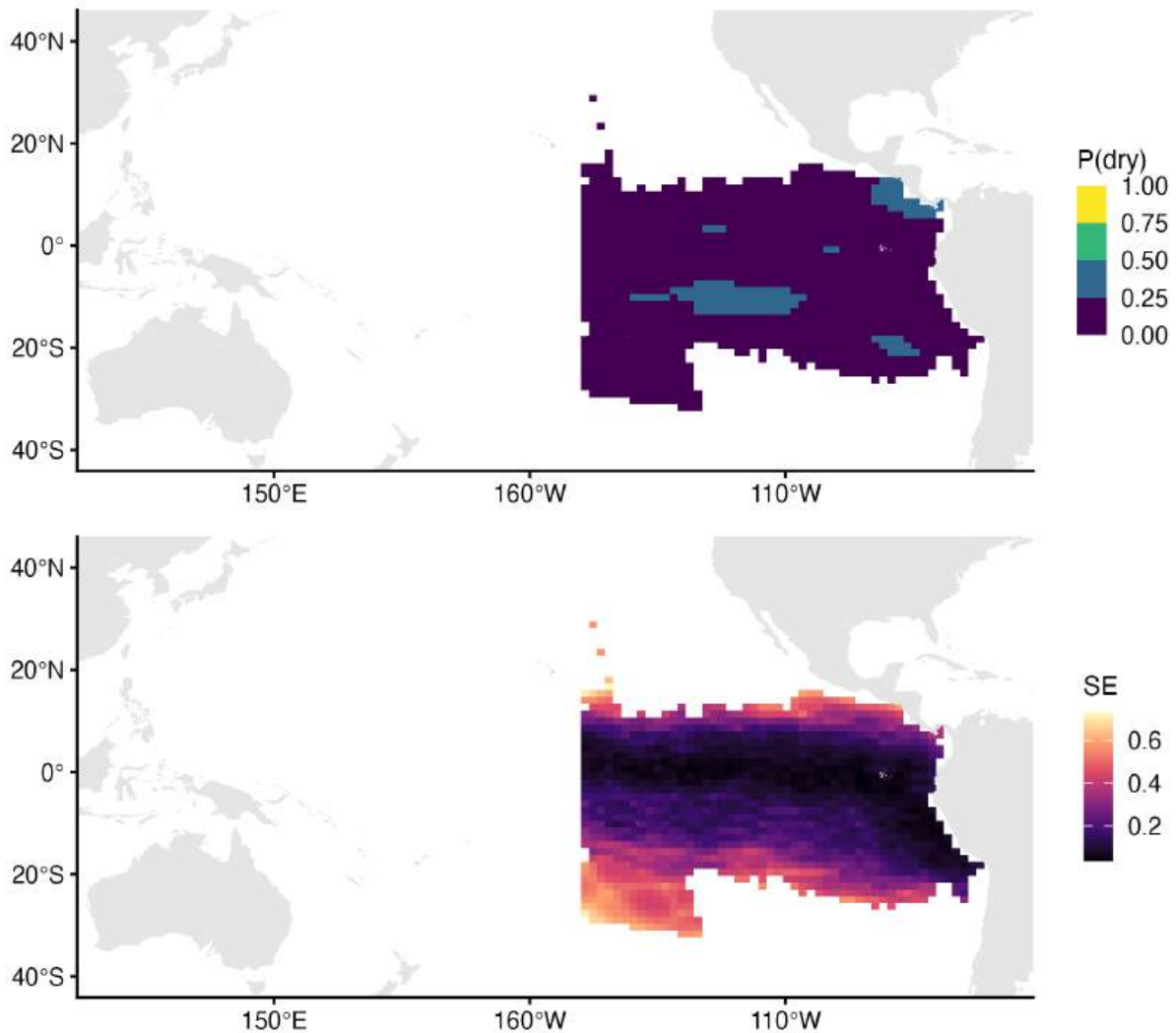


**FIGURA 16.** Probabilidad estimada de que las boyas desplegadas por la CIAT terminen en aguas secas en sus ubicaciones finales (de censura). Parte superior: superficie de probabilidad prevista a partir de un modelo GLMM binomial espacial. Parte inferior: error estándar de las predicciones (un error estándar más alto indica un menor número de observaciones en esa zona).

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

Realizamos un análisis complementario para examinar cómo variaba la probabilidad de un destino en tierra en el momento de la censura en función de la ubicación de despliegue, y no de la ubicación de censura. Limitamos este análisis únicamente a las boyas desplegadas en el área de la Convención de la CIAT. Las boyas desplegadas en el noreste de los caladeros (frente a las costas de América Central) tenían una probabilidad ligeramente mayor de presentar una observación final en tierra, al igual que las boyas desplegadas en un segmento del sureste y en una franja del suroeste (Figura 17). Sin embargo, estas diferencias eran pequeñas, lo que sugiere que no existía una relación clara entre la ubicación de despliegue y el estado final (en el agua o en tierra). Un proyecto de investigación específico podría examinar esta relación más a fondo para explorar opciones de gestión espacial y aportar información a los programas de recuperación.

Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.



**FIGURA 17.** Probabilidad estimada de destino seco en las ubicaciones de despliegue (iniciales) de las boyas desplegadas por la CIAT. Parte superior: superficie de probabilidad prevista a partir de un GLMM binomial espacial. Parte inferior: error estándar de las predicciones (un SE más alto indica menos observaciones en esa zona).

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

### 3.4.3 INFORMES DE DESACTIVACIÓN

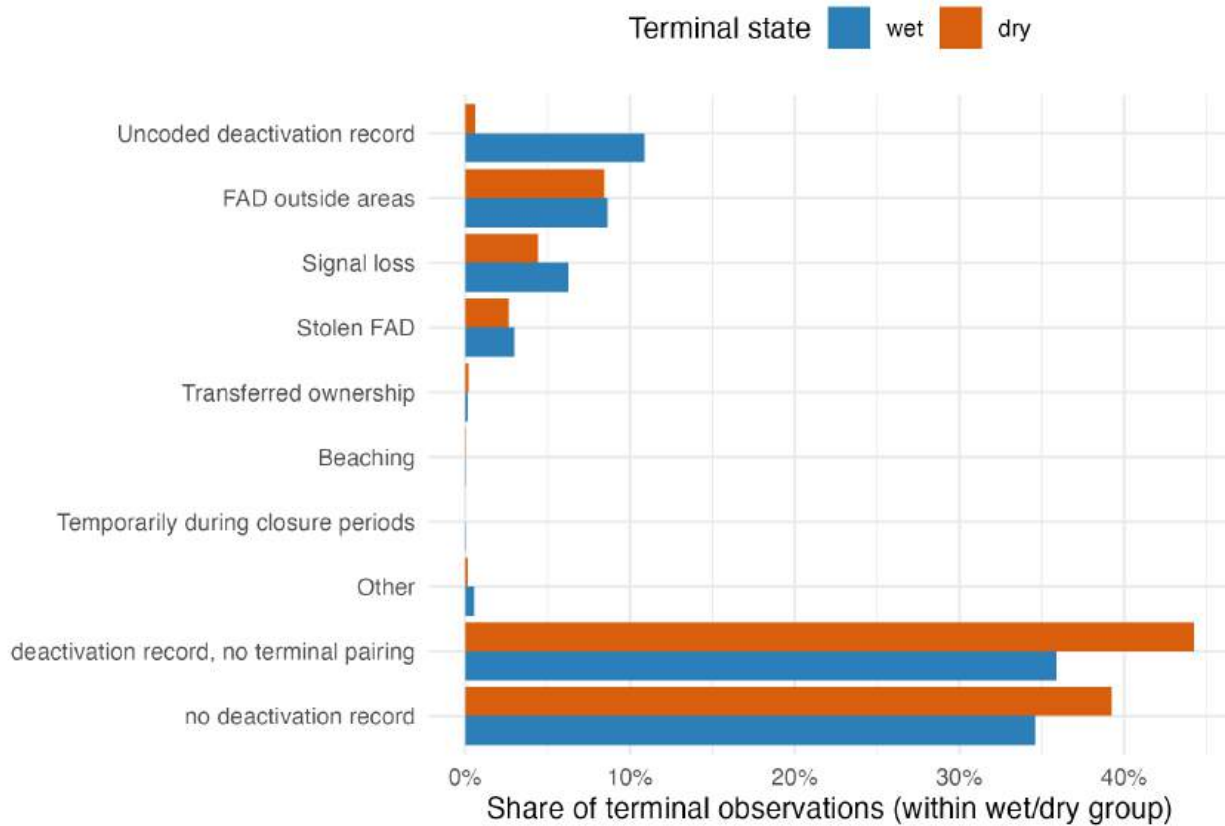
De conformidad con el párrafo 22 de la Resolución C-25-01 (y las disposiciones equivalentes de las resoluciones anteriores C-21-04 y C-24-01), cada boya satelital desplegada debería generar, por lo general, al menos un registro de desactivación a lo largo de su vida útil, siempre que se den las circunstancias que permitan la desactivación (nótese que la desactivación según la Resolución significa que la boya ha perdido la capacidad de transmitir vía satélite; una boya apagada no aparece como «<sup>10</sup>» en la base de datos de boyas, pero sigue teniendo la capacidad de transmitir si se enciende, a menos que esté completamente desactivada). Actualmente, las desactivaciones se notifican bien a través de un formulario específico por parte de la flota mensualmente, bien directamente por los fabricantes de boyas (a menudo faltando datos sobre el motivo de la desactivación). De las 100 474 boyas filtradas por truncamiento en nuestro análisis, el 64,7 % apareció en la base de datos de desactivación en algún momento de su vida útil. El 35,3 % restante de las boyas nunca se notificó en la base de datos de desactivación, lo que indica que nunca se desactivaron o que la desactivación no se notificó a la CIAT. Si se analiza el mismo solapamiento desde la otra perspectiva, de las 84 054 boyas distintas de la base de datos de desactivación cuya fecha de desactivación se encuentra dentro de la ventana de observación de las rutas (menos el margen de 90 días para el retraso en la notificación mencionado anteriormente), el 75,9 % aparece en el conjunto de rutas filtradas por truncamiento. No está claro por qué no disponemos de datos de trayectorias para el 24,1 % restante (por ejemplo, discrepancias entre el modelo de boya y el ID).

La observación final de cada boya rastreada se cotejó con el registro de desactivación mediante la coincidencia más cercana en el tiempo por boya (Figura 18). De las 100 474 boyas conservadas tras el filtrado por truncamiento, 27 610 (27,5 %) tenían un registro de desactivación que coincidía dentro de los rangos de calidad «exacto» o «cercano» en su fila final. El resto se dividió en dos modos de fallo distintos: «sin registro de desactivación» (35 487; 35,3 % de las boyas finales), en el que la boya está totalmente ausente de la base de datos de desactivación, y «registro de desactivación, sin emparejamiento final» (37 377; el 37,2 % de las boyas terminales), en el que existe un registro de desactivación para la boya, pero no hay una coincidencia exacta o cercana en su observación terminal. Este segundo modo se da de dos maneras. En primer lugar, la coincidencia más cercana en el tiempo puede estar vinculada a una fila de la trayectoria interior en lugar de a la terminal. Por ejemplo, una boya cuya propiedad se transfiere a mitad de trayectoria genera un registro de «transferencia de propiedad» en el momento de la transferencia; si no se presenta ningún otro registro cuando la boya se pierde posteriormente, el registro existente se empareja con ese evento de transferencia interior en lugar de con la observación terminal. En segundo lugar, la coincidencia más cercana puede recaer en la propia fila terminal, pero con un desfase temporal superior a siete días —por ejemplo, cuando un operador presenta el informe de desactivación un mes después de que la boya haya dejado de transmitir. Un subconjunto de las terminales coincidentes entra en la categoría de «registro de desactivación sin codificar»: entradas que confirman la existencia de un registro, pero que no incluyen ningún código de motivo específico. Si nos limitamos a las coincidencias de terminales con un motivo codificado (D0–D6), obtenemos el 18,2 % de las boyas terminales. El motivo codificado registrado con mayor frecuencia fue «Fuera de las zonas de DCP» (8,6 % de las boyas terminales). La huella espacial de cada motivo (Figura 19) y su distribución por meses naturales (Figura 20) ilustran dónde y cuándo predomina cada motivo.

---

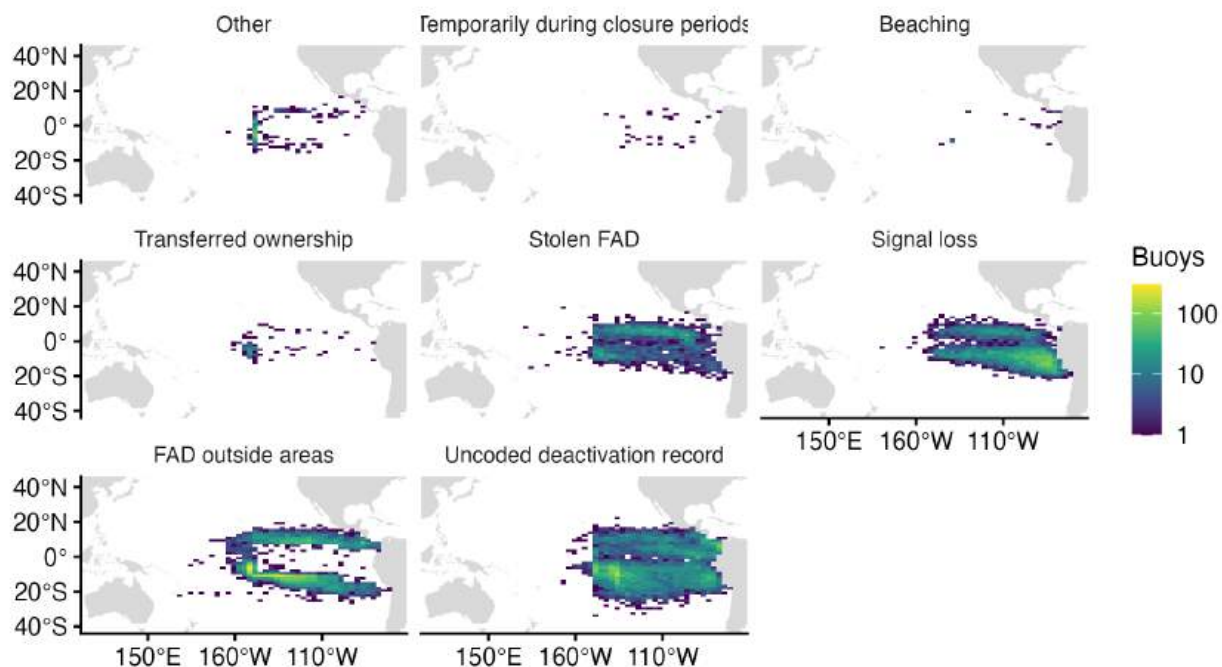
<sup>10</sup> Véanse las definiciones en el Glosario de términos de la sección 2.1.

Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.



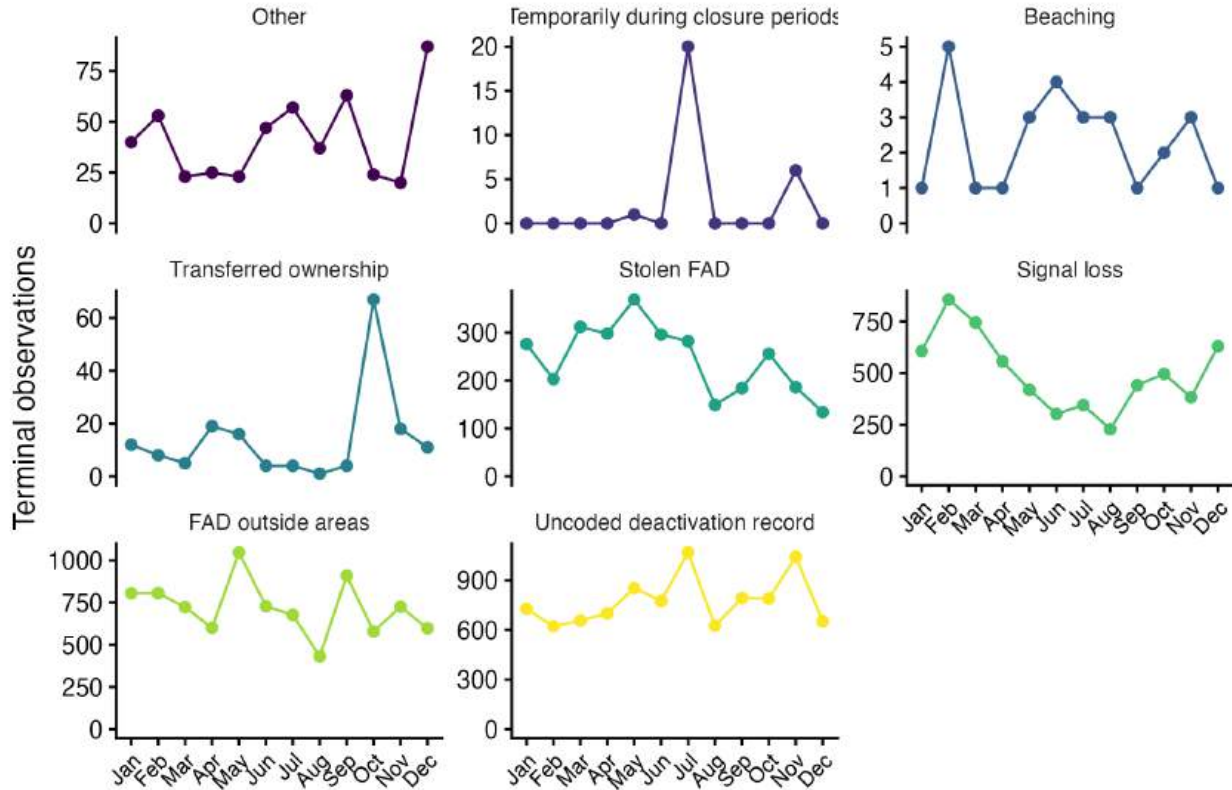
**FIGURA 18.** Distribución de los motivos de desactivación notificados en la observación terminal de cada boya, por estado terminal, expresada como proporciones intragrupalas (las barras dentro de cada estado terminal suman el 100 %). Los motivos codificados solo cuentan los registros de desactivación cuya coincidencia más cercana en el tiempo se situara dentro de los rangos de calidad «exacto» o «cercano» en la fila terminal. Las filas finales sin dicha coincidencia se dividen en «sin registro de desactivación» (la boya nunca aparece en la base de datos de desactivación) y «registro de desactivación, sin emparejamiento final» (la boya está en la base de datos, pero ninguna coincidencia exacta o cercana se situó en la fila final).

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*



**FIGURA 19.** Ubicaciones de las observaciones de boyas terminales cuyo registro de desactivación más reciente se situaba dentro de los rangos de calidad «exacto» o «cercano», clasificadas por motivo de desactivación declarado, además de «otros» y «registro de desactivación sin codificar».

Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.

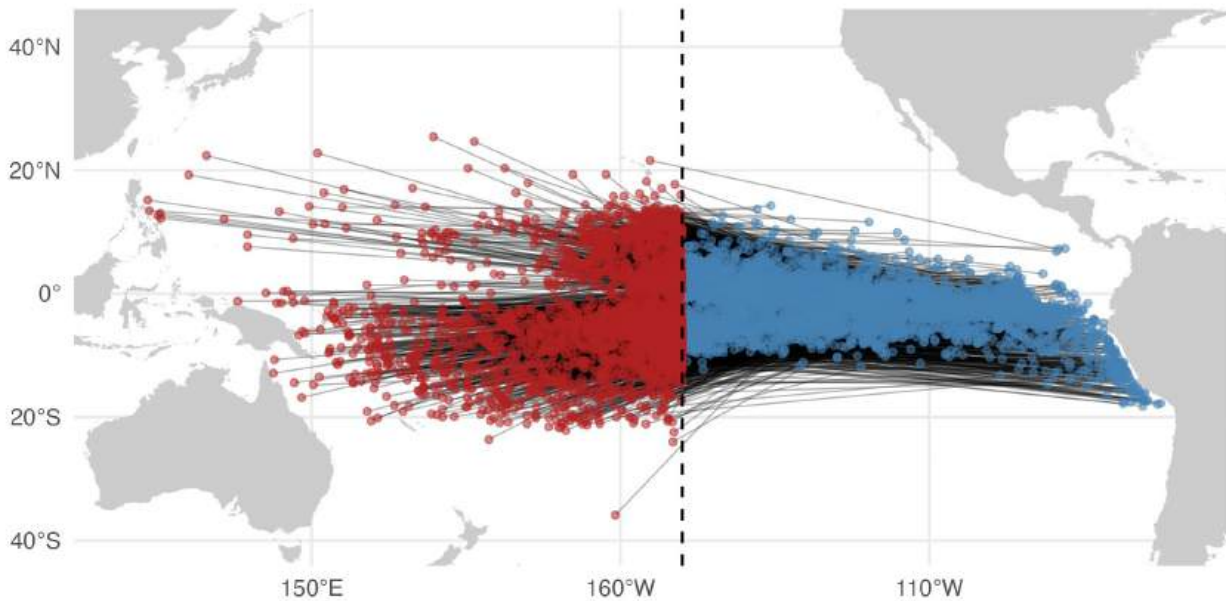


**FIGURA 20.** Distribución por meses naturales de las observaciones de boyas terminales con un registro de desactivación que coincide con las bandas de calidad «exacta» o «cercana», agrupadas por años, según el motivo de desactivación notificado.

### 3.4.4 SEGMENTOS ENTRE CONVENCIONES

Aunque muchas boyas fueron censuradas al salir de la zona del Convenio de la CIAT, algunas continuaron transmitiendo, lo que nos permitió examinar los patrones de conectividad de las boyas entre las zonas de los Convenios de la CIAT y la WCPFC (Figura 21). De los 370 332 segmentos, 5062 (1,4 %) desplegados dentro del área de la Convención de la CIAT (al este de los 150° O) tuvieron su última observación en el área de la WCPFC (al oeste de los 150° O). A nivel de boya, 5.584 de las 100.474 boyas (5,6 %) se desplegaron inicialmente en la zona de la CIAT, pero su última observación se realizó en la zona de la WCPFC.

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*



**FIGURA 21.** Segmentos que se desplegaron en el área de la Convención de la CIAT (al este de los 150° O) pero que terminaron en el área de la WCPFC (al oeste de los 150° O). Las líneas conectan las ubicaciones de despliegue (azul) con las de censura (rojo). La línea discontinua marca el límite de los 150° O de las áreas de la Convención de la CIAT.

Cabe señalar, sin embargo, que se trata de una imagen incompleta. Muchas boyas fueron censuradas al acercarse o cruzar el límite de la Convención de la CIAT en 150° O. Para cuantificar esto, identificamos los segmentos desplegados por la CIAT y las boyas cuya última observación se clasificó como «húmeda» (es decir, la boya aún estaba a la deriva) y se encontraba dentro de un margen de  $\pm 2^\circ$  del límite (148° O a 152° O).

De los 136 096 segmentos desplegados por la CIAT que seguían «húmedos» en su última observación, 17 818 (13,1 %) fueron observados por última vez a menos de  $\pm 2^\circ$  del límite de 150° O, lo que sugiere una censura en la línea de la Convención. A nivel de boya, 14 073 de las 83 839 boyas desplegadas por la CIAT con eventos de censura en estado húmedo (16,8 %) fueron observadas por última vez cerca del límite. Se desconoce el destino final de estas boyas censuradas en el límite. Dada la deriva media hacia el oeste de las boyas en el EPO, al sumar este número de boyas censuradas en el límite al número de boyas que cruzaron la convención observadas directamente, se obtiene un total de 19 657 boyas (23,4 %) que se observó que cruzaron o que probablemente cruzaron al oeste de la zona de la Convención de la CIAT.

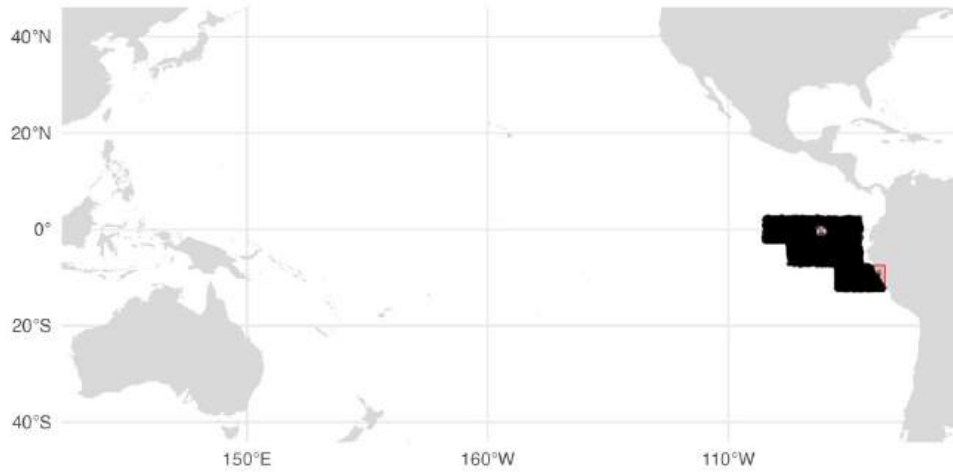
*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

### **3.4.5 COMPARACIÓN ENTRE BIOFAD Y FAD CONVENCIONALES**

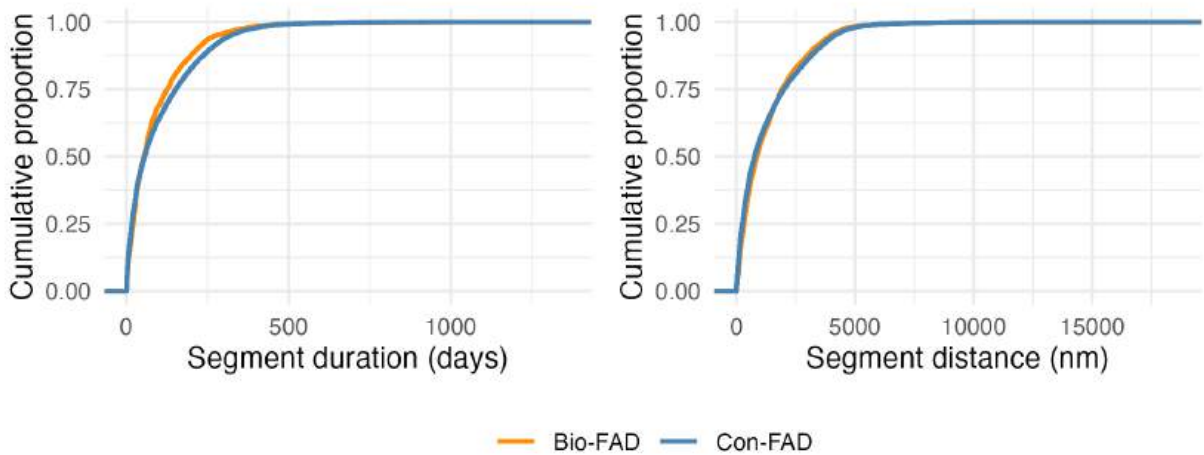
Los datos de trayectoria por sí solos no proporcionan información sobre la naturaleza del DCP al que está unida la boya. Además, una misma boya puede estar unida a varios DCP diferentes a lo largo de su vida útil. Sin embargo, pudimos vincular esta base de datos de boyas con los registros observados de DCP y boyas notificados en el informe FAD-09-02. Basándonos en este proceso, identificamos segmentos de boyas generados por nuestro modelo que tenían al menos una parte de ese segmento observada por un observador de la CIAT, y accedimos a los metadatos sobre el DCP al que estaba unida la boya según lo anotado por el observador, incluyendo si el DCP era un «bio-DCP» (DCP biodegradable). A partir de esto, identificamos en nuestro análisis los segmentos que, en nuestra opinión, correspondían al despliegue de una boya en un bio-FAD y los comparamos con despliegues de boyas similares en FAD convencionales.

No encontramos diferencias claras en la duración o la distancia de los bio-FAD y los FAD convencionales desplegados en la zona principal de despliegue de bio-FAD ([Figura 22](#)). Los segmentos desplegados en la zona principal de despliegue de bio-FAD no presentaban diferencias claras en cuanto a la duración del segmento o la distancia recorrida entre los FAD convencionales y los bio-FAD ([Tabla 3](#)).

Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.



**FIGURA 22.** Celdas centrales de despliegue de bio-FAD (cuadrícula de 5°,  $\geq 170$  despliegues de bio-FAD por celda).



**FIGURA 23.** Distribución acumulativa de la duración de los segmentos y la distancia para los segmentos de bio-FAD y los segmentos de FAD convencionales emparejados espacio-temporalmente. FAD convencionales restringidos a las celdas centrales de bio-FAD ( $\geq 170$  despliegues por celda de 5°) y al mismo intervalo de años (2022-2024).

**TABLA 2.** Comparación de la mediana de los segmentos de bioFAD frente a los segmentos de FAD convencionales emparejados, limitada a las células centrales de bioFAD. Valores medios entre paréntesis.

Tipo de FAD	N	Duración, días	Distancia, nm
Bio-FAD	2.556	54 (88)	863 (1333)

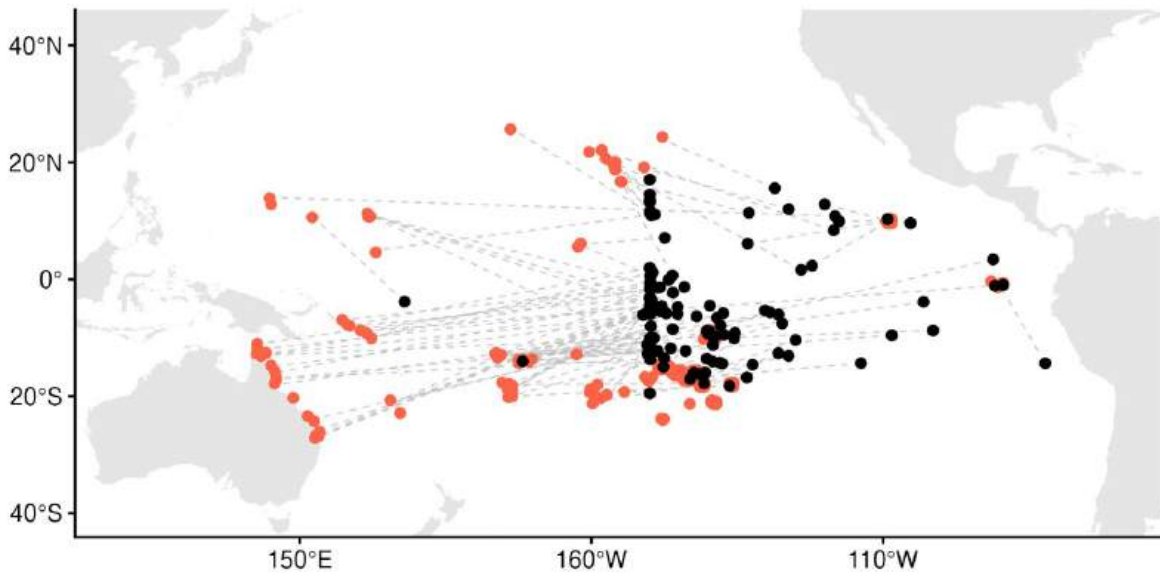
### 3.4.6 VARAMIENTOS, RECUPERACIONES Y AVISTAMIENTOS OBSERVADOS

Las bases de datos de encuentros con DCP proporcionadas por los colaboradores e incorporadas aquí (SPC-WCPFC, Polinesia Francesa, Clipperton y Galápagos) registran tres tipos de eventos distintos: *varamientos* (un DCP que descansa en la costa, sobre un arrecife o en tierra), *recuperaciones* (un DCP recuperado por un observador o un programa asociado) y *avistamientos en el mar* (un DCP observado a la deriva o encontrado en el agua sin que se haya recuperado). Estos no son intercambiables: un avistamiento no implica necesariamente un varamiento, y la distancia entre la transmisión final de una boya y la ubicación del encuentro notificada puede reflejar bien una deriva posterior a la transmisión hacia una playa, bien simplemente el lugar donde se vio por casualidad una boya a la deriva. En el análisis que figura a continuación mantuvimos los tres tipos de eventos, pero utilizamos el término general «encuentro» cuando la clase específica del evento no estaba disponible o no era relevante.

Encontramos 125 boyas que fueron observadas en las bases de datos de avistamientos de DCP y que coincidían con registros de nuestra base de datos de seguimiento de boyas. Es importante destacar que se desconoce la tasa relativa de varamientos con estos datos. Tampoco sabemos si las boyas vistas por última vez en el Área de la Convención de la CIAT que posteriormente fueron avistadas al oeste, fuera de esta zona, estuvieron a la deriva todo el tiempo, o si fueron recuperadas y reubicadas en el OCPO en algún momento. Sin embargo, estos datos muestran que existe un claro potencial para que las boyas (y también los DCP) recorran grandes distancias entre su última transmisión y un avistamiento posterior, y que las boyas cuyos transpondedores satelitales dejaron de transmitir cerca del límite del Área de la Convención —ya sea por apagado deliberado, geovallas u otras causas— pudieran ser avistadas, incluso como varamientos, más adelante ([Figura 24](#)).

Estos registros vinculados también proporcionan una verificación externa del clasificador «húmedo/seco». Entre las boyas coincidentes clasificadas como «secas» en su última transmisión, la distancia media desde esa posición final hasta la ubicación del avistamiento notificado fue de 4 millas náuticas, mientras que el 83 % de las boyas coincidentes cuya última observación fue «húmeda» tenían una distancia media de 1546 millas náuticas hasta su ubicación de avistamiento final, lo que concuerda con que estas boyas aún estuvieran a la deriva cuando cesaron las transmisiones. La separación entre estas dos distribuciones sugiere que el clasificador está señalando los estados terminales «en seco» razonablemente cerca de un evento de recuperación o varamiento, en lugar de hacerlo arbitrariamente a lo largo de la trayectoria de deriva, aunque el desfase residual para los terminales «en seco» es coherente con varias explicaciones no excluyentes: múltiples varamientos (p. ej., varamiento, desprendimiento y nuevo varamiento), recuperación seguida de depósito en una playa o tierra donde la boya fue luego reportada, avistamientos en el mar aguas abajo de una posición terminal en seco, o clasificación errónea del modelo.

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*



**FIGURA 24.** Ubicaciones de «encuentros» notificados —varamientos, recuperaciones y avistamientos en el mar (rojo)— y observaciones finales de boyas (negro) para las boyas coincidentes en las bases de datos de varamientos y recuperaciones de boyas FAD de SPC-WCPFC, Polinesia Francesa, Clipperton y Galápagos.

#### 4. DISCUSIÓN

El modelo de detección húmedo/seco funcionó bien según los parámetros estándar (AUC del ROC de 0,99), utilizando la temperatura del agua, la velocidad y sus transformaciones (rumbo, rumbo de balanceo, deltas de temperatura y velocidad) como predictores. Varias consideraciones matizan la interpretación de estos parámetros.

En primer lugar, el modelo se ha entrenado y evaluado exclusivamente con boyas del fabricante D, que cuentan con sensores de conductividad que proporcionan datos de referencia sobre el estado de humedad o sequedad. Si las boyas del fabricante D difieren sistemáticamente de las de otros fabricantes en cuanto a sus sensores de temperatura, patrones de despliegue o comportamiento de transmisión, la precisión de la clasificación en el mundo real con boyas de otros fabricantes podría ser inferior a lo que sugieren las métricas del conjunto de prueba. No hay una forma directa de validar esto en nuestro estudio, ya que las boyas de otros fabricantes carecen de datos de referencia. Sin embargo, la consistencia del resultado principal sobre el destino entre las fuentes de «húmedo» y «seco» (un 94,3 % de observaciones finales de «húmedo» para el fabricante D frente al 79,8 % de las previstas) sugiere que el modelo no está significativamente mal calibrado.

En segundo lugar, las métricas agregadas pueden ocultar un rendimiento deficiente en boyas individuales. Sin embargo, la distribución de la precisión equilibrada por boya muestra una mediana de 0,97, con solo un 1,5 % de las boyas de prueba por debajo de 0,70. No hay una larga cola izquierda de boyas sistemáticamente mal clasificadas.

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

En tercer lugar, aunque el modelo de clasificación húmedo/seco funciona bien en todas las métricas, sigue sin ser perfecto. El enorme volumen de DCP implica que incluso un modelo con una precisión superior al 95 % clasificará incorrectamente el estado húmedo/seco de miles de DCP (a pesar de ser correcto para la gran mayoría).

En cuarto lugar, el significado de una observación «húmeda» difiere entre las boyas detectadas por el fabricante D y las predichas por el modelo. El sensor de conductividad del fabricante D solo registra si el propio sensor está en el agua, por lo que una boya varada en un arrecife pero aún parcialmente sumergida puede registrarse como húmeda. El modelo de estado húmedo/seco, por el contrario, predice el estado a partir de una combinación de la señal de temperatura del agua y el movimiento; por lo tanto, es probable que el modelo clasifique como seca una boya varada que ya no se desplaza, incluso si su sensor estuviera sumergido. El recuento de observaciones finales «húmedas» para las boyas del Fabricante D puede incluir, por lo tanto, algunos casos de boyas varadas pero sumergidas que el modelo marcaría como secas.

En quinto lugar, con los datos existentes, resulta difícil validar de forma independiente el algoritmo de segmentación basándose únicamente en los datos de seguimiento de boyas disponibles; los datos de las boyas permiten observar el estado «húmedo/seco». En estos datos no se observa directamente si una serie de observaciones «secas» representa una verdadera interrupción en el segmento de un DCP (por ejemplo, recuperación, transporte en barco a una nueva ubicación, reubicación). Por lo tanto, los resultados a nivel de segmento, como el número medio de segmentos por boya, son tan fiables como el algoritmo de segmentación, que, aunque lógico y respaldado por los datos basados en la inspección visual, no puede validarse directamente con los datos disponibles en este estudio.

Sin embargo, y a pesar de las limitaciones mencionadas anteriormente, este estudio pretende establecer patrones generales a gran escala para miles de boyas en una pesquería con múltiples banderas y comportamientos que pueda extenderse más allá de la EPO, una tarea que el modelo y el estudio actuales logran.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Este estudio se propuso caracterizar la dinámica de los DCP a la deriva en el OPO utilizando datos de seguimiento de boyas por satélite compartidos con la CIAT en virtud de las Resoluciones C-21-04, C-24-01 y C-25-01, complementados con registros de avistamientos de DCP proporcionados por colaboradores y la base de datos de desactivación de la CIAT. Examinamos varios elementos, seis de los cuales están interrelacionados —estado húmedo/seco de las boyas, la relación entre la ubicación de despliegue y el destino final, los patrones de segmentación y reutilización, el comportamiento de los bio-FAD frente al de los FAD convencionales, la conectividad entre el OPO y el OCPO, y los patrones de desactivación y notificación— que, en conjunto, proporcionan la visión más completa de la dinámica de las boyas (FAD) en el OPO recopilada hasta la fecha. A continuación se resumen las principales conclusiones sobre cada elemento interconectado:

### **1. Modelo de estado húmedo/seco:**

El modelo de clasificación entrenado con los datos de conductividad del fabricante D predijo el estado húmedo/seco de las boyas de otros fabricantes con una precisión muy alta (AUC del ROC = 0,99; precisión equilibrada media por boya = 0,97). Aplicado a toda la flota, el 84,2 % de las boyas se clasificaron como húmedas en su última observación, lo que indica que la mayoría de las boyas dejan de transmitir mientras siguen a la deriva en el mar. Las observaciones de terminales secas —el subconjunto más consistente con los varamientos o la recuperación— se concentraron espacialmente cerca de las costas: a lo largo de América Central y del Sur, alrededor de las Galápagos, en partes de la Polinesia Francesa y a lo largo de las costas insulares al oeste del área de la Convención de la CIAT en el OCPO. Estos resultados

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

proporcionan un respaldo cuantitativo, basado en modelos, a los patrones de varamiento que anteriormente solo se habían reportado de forma anecdótica en esas regiones.

## 2. Relación con los lugares de despliegue

El análisis complementario que condicionaba el destino final a la ubicación de despliegue (en lugar de a la censura) mostró solo señales débiles. Las boyas desplegadas frente a América Central, en una franja del sureste del OPO y en el suroeste tenían una probabilidad ligeramente mayor de terminar en estado seco, pero las diferencias eran pequeñas. En general, la ubicación de despliegue no es un predictor sólido del destino final, y se necesitaría un estudio específico para respaldar la gestión espacial o informar los programas de recuperación.

## 3. Segmentación y reutilización de boyas

Entre el 20 % y el 40 % de las boyas aparecieron en un solo segmento y no volvieron a aparecer en los datos, lo que concuerda con la magnitud de los FAD no observados tras su primer despliegue en FAD-09-02. Al mismo tiempo, una parte considerable de las boyas se reutilizó varias veces: la mayoría de las boyas reutilizadas generaron entre 2 y 10 segmentos distintos a lo largo de su vida útil observada, y cada nuevo segmento implicaba un ciclo de recuperación y rediseño. En conjunto, estos patrones indican que la flota activa de boyas EPO depende en gran medida de la reutilización de las unidades existentes, mientras que una parte nada desdeñable de las boyas desplegadas sale del sistema tras un único uso.

## 4. Comparación entre bioFAD y FAD convencionales

Al restringir la comparación a la zona principal de despliegue de bioFAD y emparejar los segmentos de bioFAD con segmentos de FAD convencionales comparables en el espacio y el tiempo, no encontramos diferencias claras en la duración de los segmentos ni en la distancia recorrida entre los dos tipos de FAD (mediana de 54 frente a 56 días; 863 frente a 765 millas náuticas). Dentro de los límites de lo que pueden resolver los datos de seguimiento de las boyas —lo que excluye la información intrínseca sobre la construcción de los FAD—, los bioFAD y los FAD convencionales se comportan de manera similar en términos de segmentación y movimiento.

## 5. Conectividad EPO-WCPO

Documentamos pruebas directas de la conectividad de las boyas entre las zonas de la Convención de la CIAT y la WCPFC. De los 370 332 segmentos desplegados dentro del área del Convenio de la CIAT, 5062 (1,4 %) tuvieron su última observación al oeste de los 150° O; a nivel de boya, 5584 de 100 474 boyas (5,6 %) se desplegaron por primera vez en el EPO y se observaron por última vez en el WCPO. Es casi seguro que se trata de un límite inferior: otras 14 073 boyas desplegadas por la CIAT fueron observadas por última vez en el agua a  $\pm 2^\circ$  de la frontera de los 150° O, un patrón compatible con la censura en la frontera del Convenio más que con la recuperación o el hundimiento en ese punto. Si se combinan los cruces directos con esta cohorte cercana al límite, aproximadamente el 20 % de las boyas desplegadas por la CIAT con observaciones finales en el agua entraron o probablemente derivaron alrededor o dentro de la zona del Convenio de la WCPFC.

## 6. Patrones de desactivación y notificación

De las 100 474 boyas retenidas tras el filtrado por truncamiento, el 64,7 % apareció en la base de datos de desactivación de la CIAT en algún momento, pero solo el 27,5 % tenía un registro de desactivación que coincidía dentro de las bandas de calidad «exacta» o «cercana» en su observación final. El resto se dividió entre boyas ausentes por completo de la base de datos (35,3 %) y boyas con un registro que no pudo emparejarse claramente con la fila terminal (37,2 %). Si se restringe a las terminales con un motivo codificado, se obtiene un 18,2 % de las boyas, siendo «FAD fuera de las zonas» el motivo notificado con

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

mayor frecuencia (8,6 %). La correspondencia aproximada recupera una proporción adicional significativa, pero sigue existiendo una brecha sustancial en la notificación. El refuerzo de la puntualidad y la exhaustividad de la notificación de desactivaciones y reactivaciones remotas —incluidas las boyas que abandonan el Área de la Convención de la CIAT pero siguen transmitiendo— es una clara oportunidad de mejora identificada por este análisis.

En conjunto, estos seis elementos describen un parque de boyas de la EPO cuya dinámica es cada vez más visible, pero cuyo fin de vida útil o destino final, especialmente fuera de la zona de la Convención, sigue estando parcialmente oculto por las prácticas de notificación, geovallas, comportamiento y operativas. El intercambio de datos establecido en virtud de las resoluciones C-21-04 y C-24-01 (ahora C-25-01) ha permitido los análisis aquí presentados; aprovechar esa base para reforzar la notificación de desactivaciones, apoyar la transmisión continua de las boyas que se alejan a la deriva más allá de los límites de la Convención y vincular las bajas de boyas a una base de datos de varamientos y recuperaciones en todo el Pacífico permitiría colmar las principales lagunas restantes y desarrollar prácticas de gestión de DCP fundamentadas, incluyendo oportunidades de gestión espacial, programas de recuperación y sistemas de incentivos.

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

En base a lo anterior, el personal de la CIAT recomienda:

Las prácticas actuales de notificación de desactivación y reactivación dejan a una parte sustancial de las boyas sin un emparejamiento de terminales claro, y una notificación más clara y coherente ayudaría a subsanar esa carencia.

1. Mejorar la notificación de la desactivación y reactivación a distancia, incluyendo el desarrollo de una plantilla de notificación actualizada —basada en el formulario existente— o exigiendo la notificación automática por parte de los fabricantes de boyas.

La transmisión continuada fuera del Área de la Convención de la CIAT contribuiría directamente a mejorar los análisis y a fundamentar los programas de recuperación, la clasificación de modelos, la segmentación y los modelos de conectividad aquí presentados.

2. Ampliar la notificación de datos más allá del Área de la Convención de la CIAT para las boyas desplegadas en el EPO, de modo que el geofencing a 150°O (o cualquier otro límite operativo) no obstaculice el análisis de las boyas activas tras abandonar la CIAT.

Dado que el EPO y el WCPO están conectados, y que los DCP se desplazan entre las Áreas de la Convención, es deseable y debe promoverse la colaboración a escala del Pacífico, incluyendo el intercambio de información y la coordinación de las bases de datos sobre varamientos y recuperación de DCP.

3. Continuar con la colaboración a escala del Pacífico para reducir la pérdida de dispositivos de concentración de peces (DCP) y reforzar los programas de recuperación, incluida la coordinación con la WCPFC-SPC y otras bases de datos regionales (por ejemplo, la Polinesia Francesa, Clipperton y las Galápagos).

Los DCP pueden generar impactos ambientales, entre otros, al quedar varados en zonas críticas identificadas del OPO y más allá. Algunos de estos impactos asociados podrían mitigarse explorando formas de alentar a los operadores a recuperar o utilizar menos DCP sin comprometer sus estrategias operativas ni sus objetivos de captura. Por lo tanto, desde la perspectiva de la gestión de los DCP:

4. Dar prioridad a la exploración de opciones de gestión espacial, programas de recuperación y sistemas de incentivos que reduzcan el impacto ambiental de los DCP.

*Esta traducción fue realizada con IA y se proporciona únicamente como referencia, por lo que puede estar sujeta a cambios.*

## REFERENCIAS

- Anderson, Sean C., Eric J. Ward, Philina A. English, Lewis A. K. Barnett y James T. Thorson. 2024. *sdmTMB: Un paquete de R para modelos lineales generalizados de efectos mixtos rápidos, flexibles y fáciles de usar con campos aleatorios espaciales y espaciotemporales*. <https://doi.org/10.1101/2022.03.24.485545>
- Cillari, T., A. Allegra, F. Andaloro, M. Gristina, G. Milisenda y M. Sinopoli. 2018. El uso de boyas con ecosonda en el mar Mediterráneo: un nuevo enfoque tecnológico para una pesca sostenible con dispositivos de concentración de peces (DCP). *Ocean Coast Manag.* 152, 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.11.018>.
- Hall, M., Román, M. 2013. Capturas accesorias y capturas de especies distintas del atún en las pesquerías tropicales de atún con redes de cerco del mundo. Documento técnico de pesca y acuicultura de la FAO n.º 568. Roma, FAO. 249 pp. Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/018/i2743e/i2743e00.htm>.
- CIAT. 2025. La pesquería de atún en el Océano Pacífico oriental en 2024. Comisión Interamericana del Atún Tropical. 16.ª Reunión del Comité Asesor Científico. Documento SAC-16-01 (Corr). Disponible en: [https://www.iattc.org/GetAttachment/Of3c1e8c-0ae6-41f3-a3a9-5d5891b5cc4e/SAC-16-01\\_The-tuna-fishery-in-the-Eastern-Pacific-Ocean-in-2024.pdf](https://www.iattc.org/GetAttachment/Of3c1e8c-0ae6-41f3-a3a9-5d5891b5cc4e/SAC-16-01_The-tuna-fishery-in-the-Eastern-Pacific-Ocean-in-2024.pdf)
- ISSF. 2025. Situación de la pesca mundial del atún. Marzo de 2025. Informe técnico de la ISSF 2025-01. Fundación Internacional para la Sostenibilidad de los Productos del Mar. Pittsburgh, Pensilvania, EE. UU.
- López, J., G. Moreno, G. Boyra, L. Dagorn. 2016. Un modelo basado en datos de boyas con ecosonda para estimar la biomasa de especies de peces asociadas a dispositivos de concentración de peces. *Fishery Bulletin*, 114: 166-178.
- López, J., G. Moreno, I. Sancristóbal y J. Murua. 2014. Evolución y estado actual de la tecnología de las boyas con ecosonda utilizadas por los cerqueros de atún tropicales españoles en los océanos Atlántico, Índico y Pacífico. *Fish.Res.* 155:127–137.
- Murua, H., Zudaire, I., Tolotti, M., Murua, J., Capello, M., Basurko, O., Krug, I., Grande, M., Arregui, I., Uranga, J., Ferarios, J.M., Sabarros, P., Ruiz, J., Baidai, J., Ramos, M.L., Báez, J.C., Abascal, F., Arrizabalaga, H., Moreno, G., Dagorn, L., Santiago, J. 2023. Lecciones aprendidas del primer experimento de investigación a gran escala sobre dispositivos de concentración de peces (DCP) biodegradables para mitigar los impactos de los DCP a la deriva en el ecosistema. *Mar. Policy* 148 (2023) 105394. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105394>.