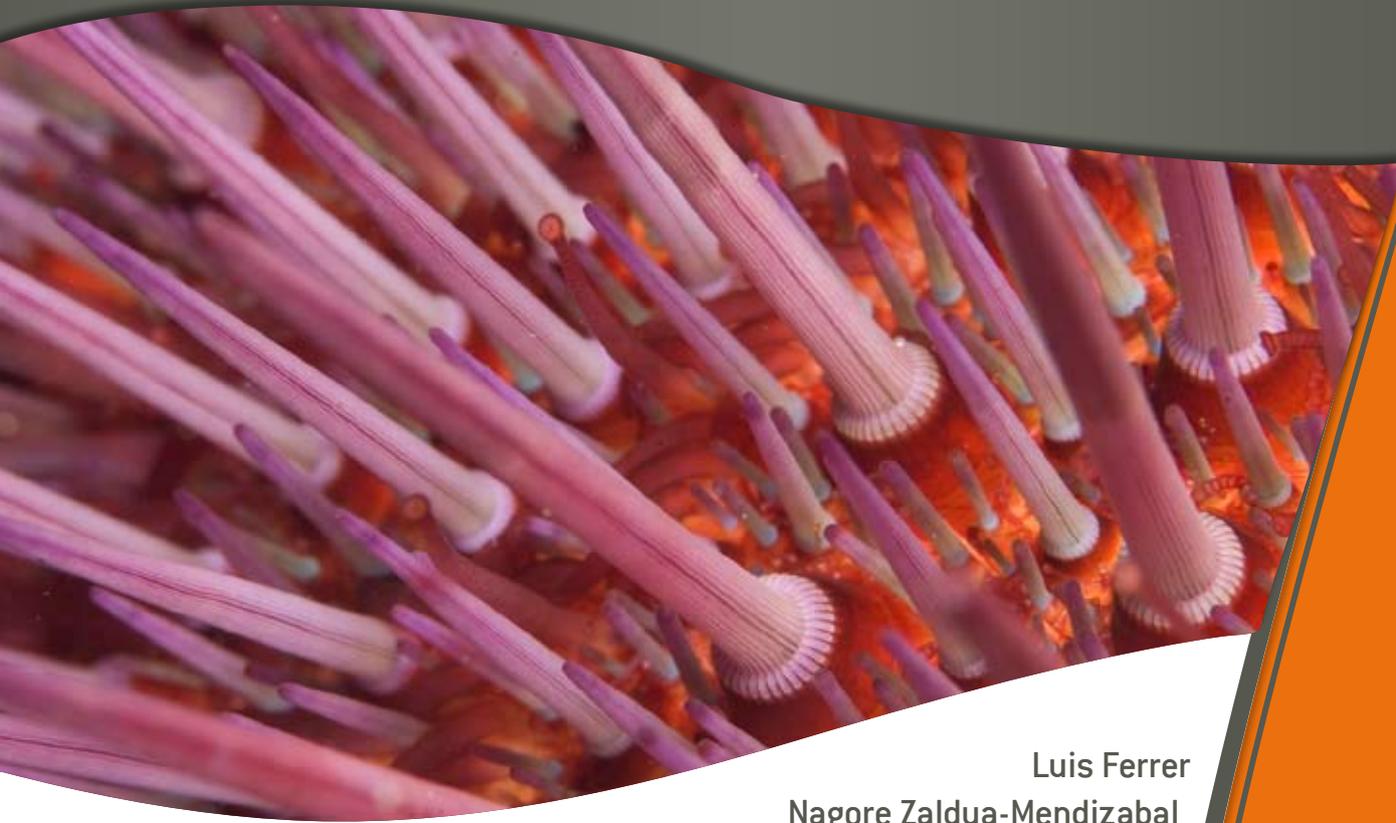


20(7) Protocolo operacional para el avistamiento y seguimiento del cnidario *Physalia physalis* (carabela portuguesa) en el sureste del golfo de Bizkaia



Luis Ferrer
Nagore Zaldúa-Mendizabal
Andrea Del Campo
Javier Franco
Julien Mader
Unai Cotano
Adolfo Uriarte
Jose Antonio Aranda

Ferrer, L., Zaldúa-Mendizabal, N., del Campo, A., Franco, J., Mader, J., Cotano, U., Uriarte, Ad. y Aranda, J.A., 2013. Protocolo operacional para el avistamiento y seguimiento del cnidario *Physalia physalis* (carabela portuguesa) en el sureste del golfo de Bizkaia. *Revista de Investigación Marina, AZTI-Tecnalia*, 20(7): 88-102

La serie '*Revista de Investigación Marina*', editada por la Unidad de Investigación Marina de Tecnalia, cuenta con el siguiente Comité Editorial:

Editor: Dr. Ángel Borja

Adjunta al Editor: Dña. Mercedes Fernández Monge e Irantzu Zubiaur
(coordinación de las publicaciones)

Comité Editorial: Dr. Lorenzo Motos
Dr. Adolfo Uriarte
Dr. Michael Collins
Dr. Javier Franco
D. Julien Mader
Dña. Marina Santurtun
D. Victoriano Valencia
Dr. Xabier Irigoien
Dra. Arantza Murillas
Dr. Josu Santiago

La '*Revista de Investigación Marina*' de Tecnalia edita y publica investigaciones y datos originales resultado de la Unidad de Investigación Marina de Tecnalia. Las propuestas de publicación deben ser enviadas al siguiente correo electrónico aborja@azti.es. Un comité de selección revisará las propuestas y sugerirá los cambios pertinentes antes de su aceptación definitiva.



Edición: 1.ª Mayo 2013

© AZTI-Tecnalia

ISSN: 1988-818X

Unidad de Investigación Marina

Internet: www.azti.es

Edita: Unidad de Investigación Marina de Tecnalia

Herrera Kaia, Portualdea

20110 Pasaia

Foto portada: © Álex Iturrate

Protocolo operacional para el avistamiento y seguimiento del cnidario *Physalia physalis* (carabela portuguesa) en el sureste del golfo de Bizkaia

Luis Ferrer^{1,*}, Nagore Zaldúa-Mendizabal¹, Andrea del Campo¹, Javier Franco¹, Julien Mader¹, Unai Cotano¹, Adolfo Uriarte¹, Jose Antonio Aranda²

Resumen

Physalia physalis, comúnmente conocida como carabela portuguesa, es un organismo colonial (cnidario), muy temido por sus dolorosas picaduras, que está constituido por un flotador relleno de gas con una cresta o vela en su parte superior y una parte suspendida formada por pólipos especializados y tentáculos de gran longitud para la defensa y la captura de presas. Esta contribución describe el protocolo operacional establecido durante el verano en el sureste del golfo de Bizkaia (y especialmente a lo largo de la costa del País Vasco) para su avistamiento y seguimiento. Este protocolo de actuación combina la cooperación entre diversas instituciones, incluyendo pescadores (de España y Francia), con los resultados de modelos de circulación oceánica y atmosférica. En este caso, corrientes y vientos superficiales horarios obtenidos con los modelos ROMS (Regional Ocean Modeling System) y WRF (Weather Research and Forecasting), respectivamente, son utilizados en un modelo de dispersión de partículas de tipo Lagrangiano para estimar la deriva de carabelas portuguesas y su impacto en las playas de mayor afluencia del País Vasco.

Palabras clave: Carabela portuguesa, golfo de Bizkaia, modelos, *Physalia physalis*, protocolo de actuación

Abstract

Physalia physalis, commonly known as the Portuguese man-of-war, is a colonial organism (cnidarian), greatly feared for the severity of its stings, that consists of a gas-filled sail-like float on top and a suspended part formed by specialized polyps and long defending and hunting tentacles. This paper describes the operational protocol established during the summer in the southeastern Bay of Biscay (and especially along the Basque Country coast) for its sighting and tracking. This action protocol combines the cooperation among several civil society stakeholders, including fishermen (from Spain and France), with the results of ocean and atmosphere circulation models. In this case, hourly sea surface currents and winds obtained with the ROMS (Regional Ocean Modeling System) and WRF (Weather Research and Forecasting) models, respectively, are used in a Lagrangian particle-tracking model to estimate the drifting of Portuguese man-of-war and their impact on the most popular beaches of the Basque Country.

Keywords: Portuguese man-of-war, Bay of Biscay, models, *Physalia physalis*, action protocol

Introducción

Uno de los problemas más comunes en verano en las costas y playas es la aparición de medusas y otros organismos gelatinosos, los cuales pueden causar un impacto socioeconómico relevante (Condon et al., 2013). Explorar las posibles causas que subyacen en la aparición masiva de estos organismos, así como predecir su comportamiento físico en el medio marino mediante herramientas

numéricas, resulta de interés para una correcta gestión del problema, dando así respuesta a los sectores de la sociedad afectados. El presente trabajo describe el protocolo operacional de avistamiento y seguimiento de medusas y otros organismos gelatinosos en el sureste del golfo de Bizkaia, prestando especial atención a la *Physalia physalis* (filum: Cnidaria, clase: Hydrozoa, orden: Siphonophora, suborden: Cystonectae, familia: Physaliidae), con objeto de prevenir sus picaduras en las zonas de baño. Esta especie es una colonia constituida por numerosos pólipos (Totton y Mackie, 1960; Bardi y Marques, 2007), la cual es también conocida como carabela portuguesa, agua mala, botella azul o falsa medusa.

La carabela portuguesa se caracteriza por un individuo flotante (el neumatóforo), constituido por un flotador relleno de

¹AZTI-Tecnalia, Unidad de Investigación Marina, Herrera Kaia, Portualdea z/g, 20110 Pasaia, España

²Dirección de Atención de Emergencias y Meteorología, Gobierno Vasco, Donostia-San Sebastián, 1, 01010 Vitoria-Gasteiz, España

* lferrer@azti.es

gas, con una cresta o vela en su parte superior que le facilita los desplazamientos por el viento, y una parte suspendida formada por pólipos digestivos (gastrozoides) y reproductores (gonozoides), y por tentáculos de gran longitud encargados de la defensa y la captura de presas (dactilozoides). El flotante es asimétrico y los tentáculos están provistos de cápsulas urticantes, denominadas cnidocitos, que les sirven para paralizar y atrapar a sus presas. El contacto de estos tentáculos con la piel puede afectar seriamente al ser humano. En la Figura 1 se muestra la organización de la colonia en una carabela portuguesa.

La respuesta de los organismos gelatinosos al forzamiento físico (tanto en lo concerniente al ciclo de vida como a su transporte advectivo) es a día de hoy bastante desconocida, por lo cual se hace complicado su implementación en modelos biofísicos. No obstante, algunos autores han intentado describir su movimiento en el mar, como por ejemplo Iosilevskii y Weihs (2009). Estos autores analizaron la navegación de la carabela portuguesa y, en particular, la hidrodinámica debida al flotador y a sus largos tentáculos. Una de las principales conclusiones que obtuvieron fue que la carabela portuguesa navega con su vela alineada con el viento cuando éste es intenso. Teniendo en cuenta este resultado, en el presente trabajo se utiliza el viento adicionalmente a la corriente superficial para estimar la deriva de carabelas portuguesas y su posible impacto en las playas de mayor afluencia del País Vasco.

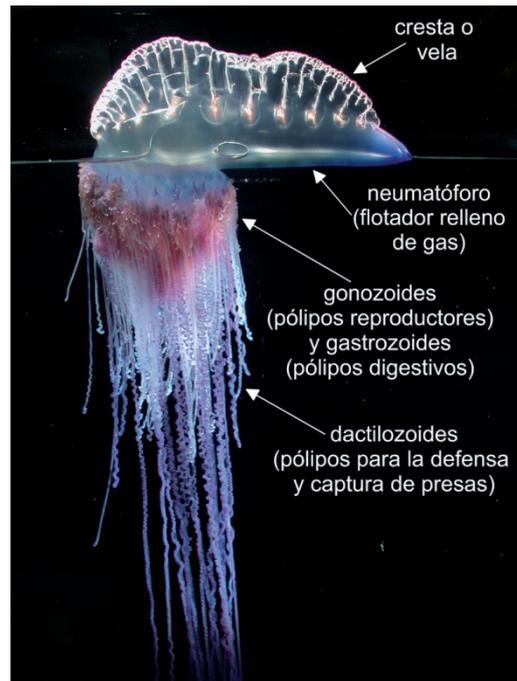


Figura 1. Organización de la colonia en una carabela portuguesa (*Physalia physalis*). Fotografía cedida por Casey Dunn.

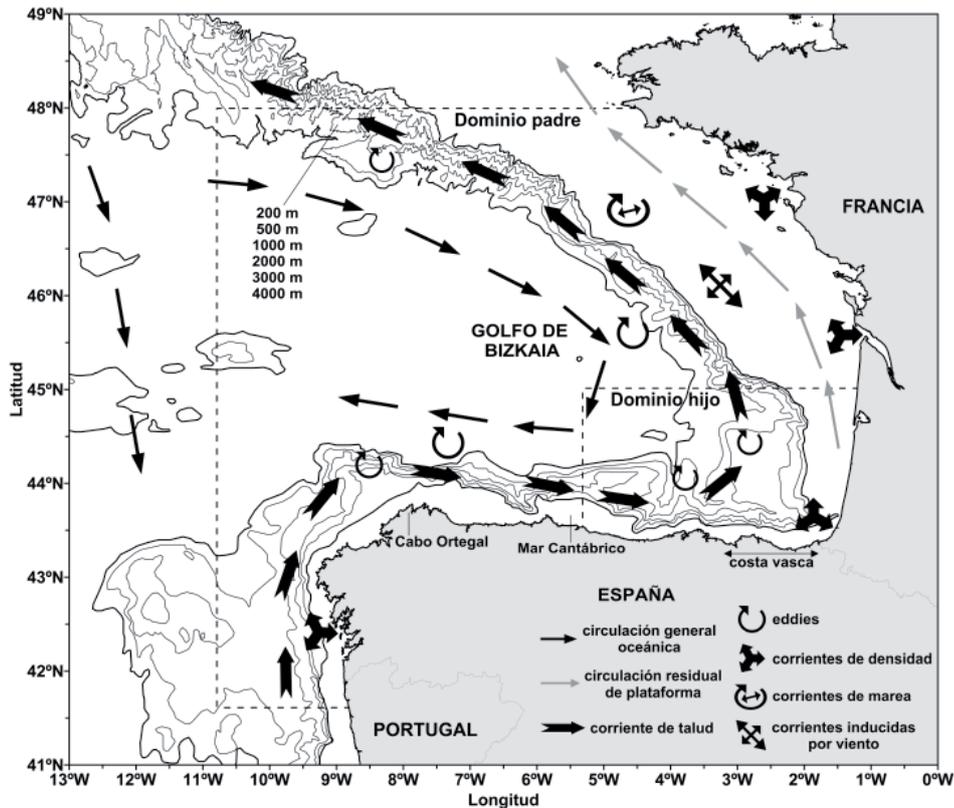


Figura 2. Circulación general en el golfo de Bizkaia (adaptada de Ferrer et al., 2009) y dominios padre e hijo utilizados en el modelo ROMS (Regional Ocean Modeling System).

Metodología

El golfo de Bizkaia se extiende aproximadamente desde la latitud 43,4°N hasta la 48,5°N, y en longitud desde cabo Ortegaleku, al noroeste de España (8°W), hasta la costa francesa (1°W). Las principales pautas de la circulación marina en esta zona están resumidas en la Figura 2. En general, la circulación oceánica del golfo de Bizkaia es débil y en sentido anticiclónico, mientras que en el talud se observa una corriente persistente en sentido contrario que parece ser la generadora de frecuentes eddies (Koutsikopoulos y Le Cann, 1996; Ferrer y Caballero, 2011). Más concretamente, diversos estudios han demostrado que en la plataforma del País Vasco la circulación superficial está controlada principalmente por el viento, las mareas y las corrientes de densidad inducidas por descargas fluviales (González et al., 2004; Fontán et al., 2006; Ferrer et al., 2009). Por consiguiente, estos mecanismos deben ser tenidos en cuenta en los modelos numéricos para estimar la deriva de carabelas portuguesas en superficie.

El protocolo operacional establecido para el avistamiento y seguimiento de carabelas portuguesas en el sureste del golfo de Bizkaia, puesto en marcha en el verano de 2012, consiste en dos sistemas, uno de observación y otro de modelos numéricos. En el sistema de observación participan numerosas instituciones: Departamento de Seguridad del Gobierno Vasco, AZTI-Tecnalia, Euskalmet, SASEMAR (Salvamento Marítimo), Ayuntamiento de Donostia-San Sebastián, Diputaciones Forales de Gipuzkoa y Bizkaia, Cruz Roja y Euskadiko Kirol Portuak. Evidentemente, la participación de los pescadores en este sistema de observación es fundamental, así como la aportación de información de cualquier usuario del mar sobre avistamientos de carabelas portuguesas o medusas.

Con antelación a la época estival, el primer paso de este sistema de observación, llevado a cabo por el Departamento de Seguridad del Gobierno Vasco, consiste en el reparto de folletos y posters informativos, conjuntamente con formularios de registro de avistamientos (Figuras 3 a 6), en puertos, playas, asociaciones, universidad y lugares costeros de interés turístico. Asimismo, se envían correos electrónicos a las personas involucradas en el sistema de alerta temprana. Los folletos informativos constan de una guía de identificación de las principales especies de medusas, incluyendo la carabela portuguesa, listadas en orden de abundancia en la costa vasca e indicando su grado de peligrosidad, y una breve versión del protocolo de actuación establecido ante avistamientos. El poster informativo está dedicado únicamente a la carabela portuguesa. Toda esta información se ha desarrollado dentro del proyecto MARMOKA.

En caso de avistamiento de medusas, el primer paso es identificar la especie. Si corresponde a una carabela portuguesa, se solicita que el observador llame lo antes posible al teléfono 112 (SOS-Deiak, servicio de emergencia vasco) o vía VHF canal 16 (SASEMAR) en caso de hacerse desde una embarcación, indicando la posición GPS o localización aproximada, la hora y el número de individuos. También es de gran utilidad recibir información sobre las dimensiones aproximadas de estos individuos. En este caso, SOS-Deiak rellena una ficha de datos que envía de inmediato a

AZTI-Tecnalia con el fin de que se ejecuten los modelos de predicción de deriva de carabelas portuguesas en superficie, a 96 horas vista. Esta predicción, con información de posibles impactos a lo largo de la costa y playas, es enviada a SOS-Deiak, el cual la distribuye entre las autoridades competentes y las personas involucradas en el sistema de alerta temprana. En el caso de que el avistamiento no sea de carabela portuguesa, se solicita que el observador rellene el formulario de la Figura 6 en la dirección de internet www.itsasnet.com. Toda esta información es de gran valor ya que nos permite confeccionar una base histórica sobre las diferentes especies de medusas que han llegado a nuestras costas.

Con respecto al sistema de modelado numérico establecido para el seguimiento de carabelas portuguesas, en éste se utiliza el modelo hidrodinámico ROMS (Regional Ocean Modeling System) para determinar no sólo las corrientes marinas sino también los campos de temperatura y salinidad en el golfo de Bizkaia. ROMS es una evolución del modelo SCRUM (S-coordinate Rutgers University Model), descrito en Song y Haidvogel (1994). El modelo ha ido evolucionando para incluir diversos aspectos tales como: esquemas de advección de orden superior; algoritmos más precisos para el gradiente de presión; diversas parametrizaciones de la pequeña escala; capas límite bentónica, oceánica y atmosférica; módulos biológicos; condiciones de contorno de radiación; y asimilación de datos.

Actualmente, ROMS no se define como un único modelo, sino que existen diferentes versiones. En este caso se utiliza la versión ROMS_AGRIF (Debreu et al., 2011) desarrollada por el instituto francés IRD (Institut de Recherche pour le Développement). Los aspectos numéricos de ROMS están descritos en detalle en Shchepetkin y McWilliams (2005). ROMS ha sido utilizado para modelar la circulación en diferentes regiones del mundo, desde la escala global a la escala local (por ejemplo Haidvogel et al., 2000; Penven et al., 2001; Marchesiello et al., 2003; Di Lorenzo et al., 2004; y Choi y Wilkin, 2007), incluida la zona de estudio (Ferrer et al., 2007, 2009, 2011; Caballero et al., 2013).

Para las simulaciones con el modelo ROMS se utilizan dos dominios, denominados padre e hijo, anidados en un único sentido (Figura 2). El dominio padre, que cubre el golfo de Bizkaia, se extiende desde 42°N a 48°N y desde 11°W a 0,5°W, con una resolución media horizontal de 6,6 km. El dominio hijo cubre la esquina sureste del golfo de Bizkaia, con una resolución de unos 2,2 km. Verticalmente, la columna de agua está dividida en 32 niveles sigma. Estos niveles están más concentrados en las aguas superficiales con el fin de obtener una mejor resolución de los procesos aquí existentes, los cuales presentan una mayor variabilidad. La batimetría utilizada en el modelo se ha obtenido por interpolación, mediante un análisis de optimización, de las bases de datos ETOPO2 (2 minute digital Elevation TOPOgraphic model), GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans), e IBCM (International Bathymetric Chart of the Mediterranean). Esta aproximación se ha adoptado con el fin de obtener una batimetría lo más realista posible, la cual se debe suavizar posteriormente para conseguir la estabilidad y precisión de los resultados de las simulaciones (Haidvogel et al., 2000).

El forzamiento atmosférico utilizado por el modelo ROMS consiste en los datos horarios ofrecidos por Euskalmet (Agencia



euskalmet
agencia vasca de meteorología
euskal meteorologia agentzia

EUSKO JAURLARITZA

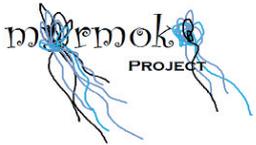
SEGURTASUN SAILA
HEZKUNTZA HEZKUNTZA
POLITIKA ETA KULTURA SAILA



GOBIERNO VASCO

DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD
DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN,
POLÍTICOLINGÜÍSTICA Y CULTURA





Guía de identificación de medusas

(ordenadas por orden de abundancia)

PELIGROSIDAD: LEVE SEVERA MUY SEVERA

 Espezie 1	 	<p>Descripción: transparente con cuatro anillos púrpuras/rosas. Tamaño: hasta 25 cm de diámetro (excepcionalmente alcanza los 40 cm) Época: abril-septiembre.</p> <p>Picadura leve.</p>
Medusa común o aurelia (<i>Aurelia aurita</i>)		
 Espezie 2	 	<p>Descripción: coloración rosácea anaranjada. Presenta 8 tentáculos y 4 brazos orales. Tamaño: habitualmente menos de 10 cm de diámetro (pueden alcanzar los 20 cm). Época: primavera-verano.</p> <p>Picadura leve.</p>
Medusa luminiscente o pelagia (<i>Pelagia noctiluca</i>)		
 Espezie 3	 	<p>Descripción: coloración blanquecina azulada con los márgenes de la campana violeta. 8 brazos orales que se asemejan a una coliflor. Tamaño: puede alcanzar 1 m de diámetro. Época: todo el año, aunque es más frecuente entre julio y septiembre.</p> <p>Reacción alérgica por exposición.</p>
Aguamala, aguaviva o acalefo azul (<i>Rhizostoma octopus</i>)		
 <p>((112)) SOS DEIAK</p>  Espezie 4	 	<p>SIFONÓFORO, no medusa. Descripción: constituida por un flotador transparente azulado lleno de gas, con una cresta o vela violácea en su parte superior, y una parte suspendida con multitud de finos y largos tentáculos. Tamaño: 30 cm de largo y 10 cm de ancho. Picadura muy severa.</p>
Carabela portuguesa (<i>Physalia physalis</i>)		
 Espezie 5	 	<p>Descripción: dibujo de 16 compases marrones sobre la umbrela. 24 tentáculos finos y largos (que pueden alcanzar los 5 m) y 4 brazos orales con abundantes pliegues. De color blanco amarillento con marcas marrones. Tamaño: puede alcanzar los 50 cm de diámetro. Época: entre julio y septiembre. Picadura severa.</p>
Medusa de compases o acalefo radiado (<i>Chrysaora hysoscella</i>)		



Donostiako Udala
Ayuntamiento de San Sebastián



Gipuzkoako Foru Alkandria
Diputación Foral de Gipuzkoa



Bizkaiko Foru Alkandria
Diputación Foral de Bizkaia



Cruz Roja



ekp



Salvamento Marítimo



VHF 16

Figura 3. Guía de identificación de las diferentes especies de medusas, incluyendo la carabela portuguesa, listadas en orden de abundancia en la costa vasca e indicando su grado de peligrosidad.

			<p>No es una medusa sino un HYDROZOO. Descripción: disco azulado y ovalado, con una vela que queda justo sobre la superficie del agua. El disco flotador está rodeado de zooides pescadores tentaculiformes. Tamaño: de 1 a 8 cm de diámetro. Época: todo el año.</p>
<p>Especie 6 Velero (<i>Velella velella</i>)</p>			<p>Picadura leve o ninguna.</p>
			<p>Descripción: su coloración es muy variable, desde rojo oscuro hasta amarillo. Dispone de una gran cantidad de tentáculos (>800). Tamaño: puede alcanzar los 2 m de diámetro pero normalmente es menor.</p>
<p>Especie 7 Medusa crin de león (<i>Cyanea capillata</i>)</p>			<p>Picadura muy severa.</p>
			<p>Descripción: transparente con una variación amplia de tonalidades entre el azul y el amarillo. Presenta una gran cantidad de tentáculos. Tamaño: puede alcanzar los 30 cm, es la versión pequeña de la medusa crin de león.</p>
<p>Especie 8 Medusa azul (<i>Cyanea lamarkii</i>)</p>			<p>Picadura severa.</p>
<p style="text-align: center;">En caso de AVISTAMIENTO de la especie nº 4 - Carabela Portuguesa (<i>Physalia physalis</i>) llamar al 112 o VHF canal 16 (Salvamento marítimo) indicando:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posición GPS o en su defecto lugar • Hora • Nº aproximado de ejemplares 			
<p style="text-align: center;">CONSEJOS EN CASO DE PICADURA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mantener la calma y salir del agua. • Lavar con agua de mar. El uso de agua dulce, vinagre u otras sustancias puede provocar la liberación de mas tóxico de los tentáculos adheridos a la piel. • Quitar los fragmentos de medusa utilizando pinzas u objetos como una tarjeta de crédito. Evitar el contacto con las manos y no frotar con toallas, ropa o arena, pues también puede causar la descarga de más veneno. • Para aliviar el dolor o las irritaciones se puede aplicar frío (si se utiliza hielo que no sea en contacto directo con la piel). • Buscar asistencia médica. 			
<p>Colabora con “MARMOKA Project” y en caso de avistamiento rellena el formulario en www.itsasnet.com</p>			
<p style="font-size: small;">Agradecimiento por las fotos: © Elle Mikkelsen, Susan McManus, Keith Hiscock, Viv Beck, Vera Vukanic, Pedro Liria, Nils Halvard Lunde, Natalia B. López, TJOEBIE, JILLYSPOON, Arria Belli</p>			

Figura 3 (Continuación). Guía de identificación de las diferentes especies de medusas, incluyendo la carabela portuguesa, listadas en orden de abundancia en la costa vasca e indicando su grado de peligrosidad.

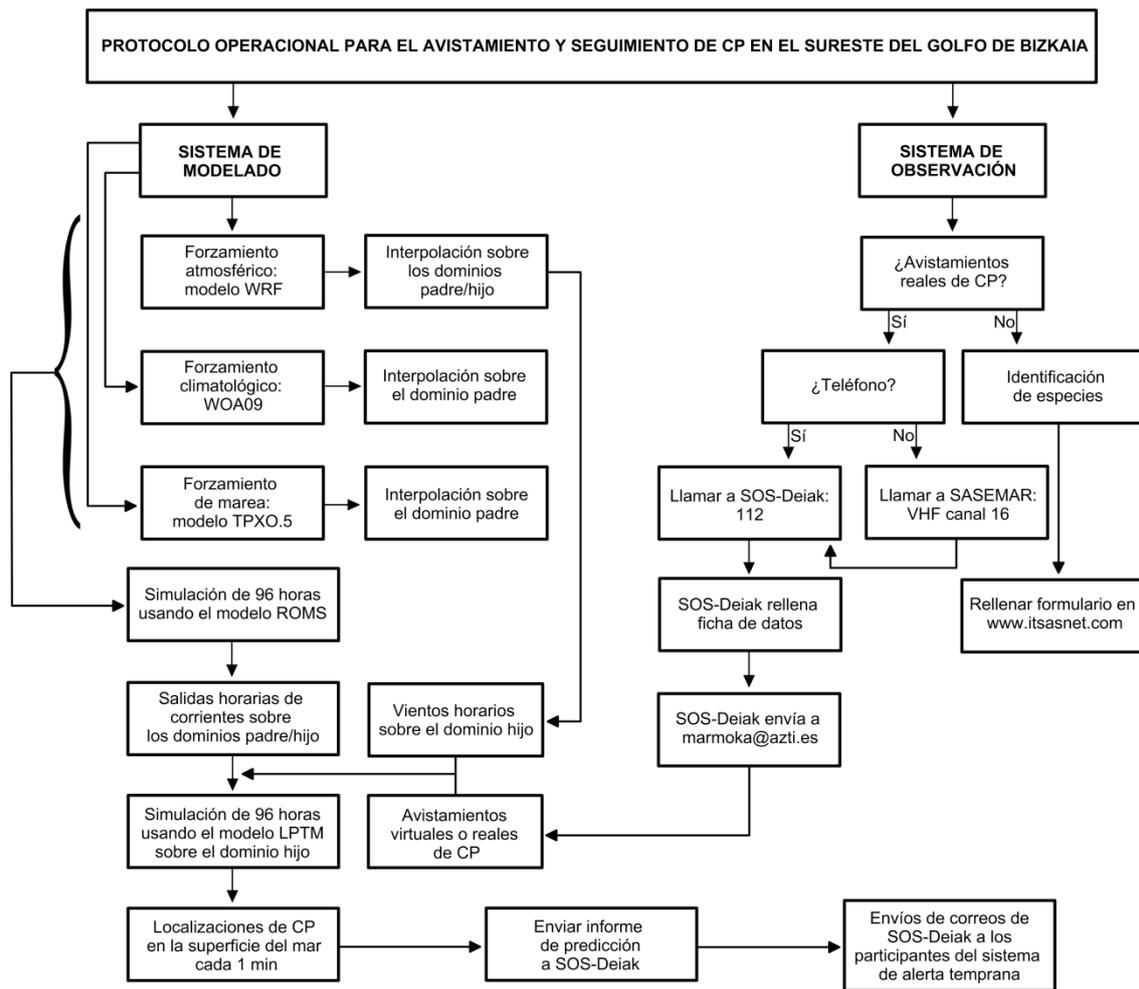


Figura 4. Versión extendida del protocolo operacional establecido para el avistamiento y seguimiento de carabelas portuguesas (CP) y medusas en el sureste del golfo de Bizkaia. WRF: Weather Research and Forecasting; WOA09: World Ocean Atlas 2009; TPXO.5: TOPEX/Poseidon Global Inverse Solution Version 5.0; ROMS: Regional Ocean Modeling System; y LPTM: Lagrangian Particle-Tracking Model.

Vasca de Meteorología), obtenidos mediante el modelo WRF (Weather Research and Forecasting). Una descripción detallada de este modelo se puede encontrar en Skamarock et al. (2005). Dos dominios anidados padre e hijo similares a los utilizados en el modelo ROMS, con 27 y 9 km de resolución, respectivamente, son los utilizados en el modelo WRF. Las condiciones iniciales y de contorno para el dominio padre se obtienen de los datos de análisis/predicción del modelo GFS (Global Forecast System), ejecutado por NCEP (National Centers for Environmental Prediction). Estos datos tienen una resolución espacio-temporal de 0,5° y 3 horas. Para el dominio hijo del modelo WRF, las condiciones de contorno se obtienen de los resultados del dominio padre. Las variables utilizadas del modelo WRF son las siguientes: vientos y temperatura del aire a 10 y 2 m sobre el nivel del mar, respectivamente; tasa de precipitación; humedad relativa; y flujos de radiación de onda corta y larga. Los flujos de momento y calor entre la atmósfera y el océano son calculados utilizando la formulación de Fairall et al. (1996, 2003).

Las condiciones impuestas en los contornos abiertos del dominio padre del modelo ROMS son una combinación de radiación y advección hacia afuera, conjuntamente con un esquema de relajación de flujo adaptativo hacia condiciones externas prescritas (Marchesiello et al., 2001). Estas condiciones externas se estiman utilizando el World Ocean Atlas 2009, WOA09 (Conkright et al., 2002). Esta base climatológica mensual contiene datos estadísticos globales de diversas variables oceánicas comúnmente observadas, a niveles estándares de profundidad (en cuadrículas de 1° y 5°), así como campos analizados objetivamente (en una malla de 1° de resolución). Las condiciones impuestas en los contornos abiertos del dominio hijo se obtienen de los resultados del dominio padre.

Para el forzamiento mareal se utilizan los datos del modelo TOPEX/Poseidon Global Inverse Solution Version 5.0 (TPXO.5), desarrollado por la Universidad de Oregon a nivel global (Egbert et al., 1994). Este modelo ofrece las amplitudes complejas de la elevación del nivel del mar relativo a la tierra y las corrientes mareales, en nuestro caso para los 10 componentes armónicos

euskalmet
agencia vasca de meteorología
euskal meteorologia agentzia

EUSKO JAURLARITZA
SEGURTASUN SAILA

GOBIERNO VASCO
DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD

azti
tecnalia

Si ves carabelas portuguesas llama al -->
Karabela portugaldarraren bat ikusiz gero, deitu -->

((112))
SOS DEIAK

Karabela portugaldarra
EZ UKITU!!!!

NO TOCAR!!!!

Carabela portuguesa

o por VHF canal 16, a Salvamento Marítimo informando de la ubicación y el nº de ejemplares vistos.

edo VHF canal 16tik (Itsas Salbamendua) esateko non kokatzen diren eta zenbat ikusi dituzun.

Salvamento Marítimo

¡CUIDADO! Picadura muy severa - Oso arriskutsua da. KONTUZ!

Donostiako Udala Ayuntamiento de San Sebastián

Euzko Legearen 1/2007ko Legearen 11. artikulua

BFA DFB
Departamento de Pesca y Acuicultura

Cruz Roja

ekp

Marineros de Pasaiako Elkartea



Figura 5. Poster de aviso de la peligrosidad de la carabela portuguesa y fotografía de un panel informativo situado en el puerto de Pasaia.



¿DÓNDE HAS OBSERVADO MEDUSAS?
 En el mar
 En la playa

POSICIÓN DEL AVISTAMIENTO
Posición GPS o localización aproximada (a tantas millas de la costa frente a...), playa, localidad, etc.

FECHA DEL AVISTAMIENTO
[Día] [Mes] [Año]

HORA DEL AVISTAMIENTO
[h] : [min]

IDENTIFICACIÓN DE LAS MEDUSAS OBSERVADAS
Puedes identificar las especies mediante la guía de identificación en www.itsasnet.com

Pelagia noctiluca
 Aurelia aurita
 Rhizostoma octopus
 Physalia physalis
 Chrysaora hysoscella
 Cyanea capillata
 Cyanea lamarckii
 Velella velella
 No se ha podido identificar

TAMAÑO DE LAS MEDUSAS OBSERVADAS
 Ejemplares entre 1-10 cm
 Ejemplares entre 10-20 cm
 > 25 cm

CRITERIOS PARA DEFINIR LA ABUNDANCIA DE LAS MEDUSAS OBSERVADAS
Individuos solitarios o agregaciones

Pocos (1-10 individuos)
 Bastantes (1-20 individuos)
 Muchos (más de 21 individuos)
 Otro:

CUALQUIER OTRA INFORMACIÓN RELEVANTE QUE QUIERAS AÑADIR
Comentarios

¿TIENES MATERIAL GRÁFICO?
Puedes enviarnos las fotos por WhatsApp (667174474) o a marmoka@azti.es

Fotos
 Videos

¿TE GUSTARÍA FORMAR PARTE DE MARMOKA PROJECT COMO OBSERVADOR?
 Sí
 No

TUS DATOS PERSONALES
Nombre
Apellidos
Correo electrónico

Figura 6. Formulario a rellenar en caso de avistamiento en la dirección de internet www.itsasnet.com.

principales (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1, Mf y Mm). Estos armónicos se introducen en el modelo ROMS a través de los contornos abiertos, mediante la condición de Flather (Marchesiello et al., 2001). Utilizando el forzamiento y las condiciones de contorno comentadas, diariamente se lleva a cabo una simulación de 96 horas con el modelo ROMS para obtener campos de corrientes promediados cada hora (ver Figura 4).

Las corrientes y los vientos obtenidos con los modelos ROMS y WRF, respectivamente, se utilizan para simular el movimiento de las carabelas portuguesas en superficie mediante un modelo de dispersión de partículas de tipo Lagrangiano, LPTM (Lagrangian Particle-Tracking Model), desarrollado por AZTI-Tecnalia (Ferrer et al., 2009). Para estimar la deriva de las carabelas portuguesas con el LPTM, se asume que ésta es dependiente de las corrientes superficiales obtenidas con el modelo ROMS al 100% y de los vientos predichos con el modelo WRF en un porcentaje a definir. En este caso se utiliza un porcentaje del 3% de la velocidad del viento a sumar a la deriva por corrientes superficiales, el cual se aplica de forma habitual en la deriva de derrames de hidrocarburos. Este porcentaje del 3% ha sido verificado tanto en campo como en experimentos de laboratorio (Fallah y Stark, 1976; Wu, 1983). Adicionalmente, el LPTM utiliza términos aleatorios de velocidad turbulenta para parametrizar los fenómenos de pequeña escala no resueltos por el modelo ROMS, tanto en los ejes horizontales como en la vertical. El método de Runge-Kutta de cuarto orden (Benson, 1992) es el utilizado por el LPTM para calcular el movimiento de las partículas que simulan ser carabelas portuguesas.

Con el LPTM se llevan a cabo dos tipos de simulaciones numéricas: 1) Con avistamientos virtuales de carabelas portuguesas. Diariamente se sitúan partículas en 52 puntos fijos localizados entre la costa y 43,7°N en latitud, y entre 3,4°W y 1,6°W en longitud (ver Figura 7), las cuales se dispersan durante 96 horas, comenzando a las 00:00 h GMT (02:00 h local); y 2) con avistamientos reales de carabelas portuguesas. Esta simulación se ejecuta únicamente cuando SOS-Deiak envía a AZTI-Tecnalia información (localización, día y hora local) de avistamientos reales en el mar. No se hace necesario ejecutar el modelo cuando la carabela portuguesa se ha observado en una bahía o zona costera semicerrada, o si ya ha alcanzado la línea de costa. En este último caso podría ser de interés estimar la procedencia de la carabela portuguesa, lo cual es factible ejecutando el LPTM hacia atrás en el tiempo.

Resultados

En el verano de 2012 hubo un total de 41 avistamientos de carabelas portuguesas a lo largo de la costa del País Vasco, 9 de los cuales ocurrieron en agosto en la playa de Zarautz (Tabla 1). El día 11 de agosto fue el de mayor número de avistamientos, siendo también agosto el mes con más avistamientos, hasta un total de 31, mientras que en julio y septiembre sólo se registraron 8 y 2, respectivamente. Se puede considerar que el verano de 2012 fue relativamente tranquilo en lo que a llegadas de carabelas portuguesas se refiere, ya que a diferencia de otros años no se registraron elevadas densidades de este organismo ni en la costa ni en la zona marina próxima. Por ejemplo, en el verano de 2010 el dispositivo puesto en marcha por la Concejalía de Playas del Ayuntamiento de San Sebastián llegó a recoger más de 3.500 ejemplares de carabela portuguesa.

En el verano de 2012 se comenzaron a realizar con el modelo LPTM tanto simulaciones diarias con avistamientos virtuales como simulaciones puntuales con varios de los avistamientos reales registrados, derivándose en este último caso informes de predicción para SOS-Deiak. Estas predicciones se han iniciado de nuevo en el verano de 2013 y, a día de hoy, ya se dispone de un informe de predicción de la única carabela portuguesa registrada por un observador (Raúl Castro) en la playa de La Zurriola (Donostia-San Sebastián) el 28 de mayo por la tarde. Debido a que esta carabela portuguesa se registró en tierra, el LPTM se ejecutó hacia atrás en el tiempo (generándose el correspondiente informe) con el fin de estimar su posible procedencia. La Figura 8 presenta los resultados de esta simulación en el formato de los informes de predicción establecidos en el protocolo operacional. Para esta simulación, el LPTM se inició el 28 de mayo de 2013 a las 18:18 h local en las proximidades de la playa de La Zurriola y se ejecutó hacia atrás hasta el 24 de mayo (96 horas de simulación). Asumiendo como reales los datos superficiales de corrientes y vientos obtenidos con los modelos numéricos ROMS y WRF, respectivamente, se podría concluir con una alta probabilidad que la región de procedencia de la carabela portuguesa encontrada en la playa de La Zurriola sería la situada en las aguas superficiales localizadas sobre el talud (>1500 m de profundidad), en una posición aproximada a 43,68°N-2,58°W.

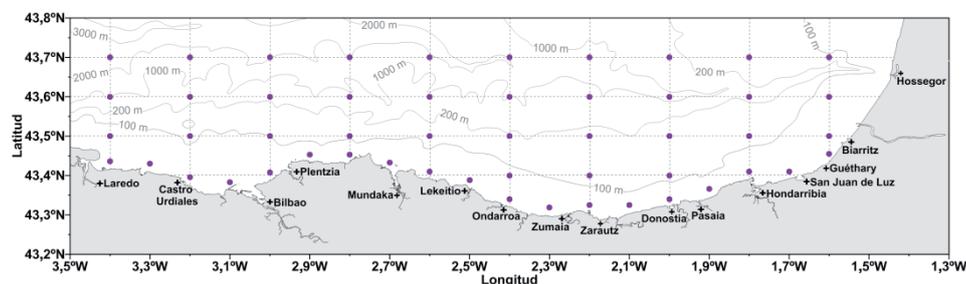


Figura 7. Localizaciones iniciales (52 puntos) de los avistamientos virtuales de carabelas portuguesas utilizados diariamente en el modelo LPTM (Lagrangian Particle-Tracking Model) durante el verano.

Tabla 1. Avistamientos registrados durante el verano de 2012 a lo largo de la costa del País Vasco (CR: Cruz Roja).

Día	Observador	Lugar	Hora local	Localización	Número
20/07/2012	J. Goikolea	Zumaia (playa)	18:45	43,3°N - 2,25°W	3
22/07/2012	J. Goikolea	Zarautz (playa)	16:30	43,29°N - 2,16°W	2
28/07/2012	Romina (CR)	Getaria (playa de Malkorbe)	19:00	43,3°N - 2,2°W	1
31/07/2012	Romina (CR)	Zarautz (fuera de costa)	Tarde	43,3°N - 2,17°W	2
01/08/2012	Lukene (CR)	Zarautz (puerto)	19:21	43,29°N - 2,18°W	1
07/08/2012	Romina (CR)	Zarautz (puerto)	19:55	43,29°N - 2,18°W	1
08/08/2012	SOS-Deiak	Armintza (puerto)	16:15	43,43°N - 2,9°W	1
09/08/2012	SOS-Deiak	Orio (fuera de costa)	13:23	43,31°N - 2,13°W	5
11/08/2012	SOS-Deiak	Saturraran (playa)	12:15	43,32°N - 2,41°W	1
11/08/2012	SOS-Deiak	Zarautz (playa)	12:32	43,29°N - 2,16°W	1
11/08/2012	SOS-Deiak	Donostia-San Sebastián (playa de Ondarreta)	12:58	43,32°N - 2°W	1
11/08/2012	SOS-Deiak	La Arena (playa)	15:38	43,35°N - 3,12°W	2
11/08/2012	SOS-Deiak	Deba (playa de Santiago)	16:57	43,3°N - 2,35°W	1
12/08/2012	Alex (CR)	Zarautz (playa)	18:30	43,29°N - 2,16°W	2
15/08/2012	SOS-Deiak	Donostia-San Sebastián (fuera de costa)	08:00	43,33°N - 2,01°W	1
17/08/2012	SOS-Deiak	Plentzia (fuera de costa)	18:29	43,42°N - 2,95°W	1
18/08/2012	SOS-Deiak	Plentzia (fuera de costa)	21:20	43,42°N - 2,95°W	1
19/08/2012	SOS-Deiak	Pasaia (puerto)	15:19	43,33°N - 1,93°W	4
20/08/2012	SOS-Deiak	La Arena (playa)	17:17	43,35°N - 3,12°W	1
21/08/2012	SOS-Deiak	Lekeitio (fuera de costa)	19:46	43,36°N - 2,48°W	1
21/08/2012	Romina (CR)	Zarautz (playa)	Tarde	43,29°N - 2,16°W	1
22/08/2012	SOS-Deiak	Lekeitio (playa de Karraspio)	14:13	43,36°N - 2,49°W	1
23/08/2012	SOS-Deiak	Zarautz (playa)	14:20	43,29°N - 2,16°W	1
25/08/2012	SOS-Deiak	Gorliz (playa)	14:43	43,41°N - 2,94°W	2
31/08/2012	Romina (CR)	Getaria (playa de Malkorbe)	14:00	43,3°N - 2,2°W	1
03/09/2012	SOS-Deiak	Sopela (playa de Arrietara)	18:45	43,39°N - 3°W	1
03/09/2012	SOS-Deiak	Ibarrangelua (playa de Laga)	18:45	43,41°N - 2,66°W	1

Para validar los resultados del modelo LPTM, integrando el efecto del viento, sería necesario el uso de datos procedentes de boyas de deriva superficiales con una forma lo más parecida posible a una carabela portuguesa. A día de hoy no se dispone de datos de este tipo, por lo cual durante 2013 se pretende el diseño de una boya tipo carabela portuguesa que permita verificar los resultados obtenidos. Para demostrar la importancia del viento, en la Figura 9 se muestran los resultados del modelo LPTM para el caso analizado en la Figura 8 utilizando diferentes porcentajes de la velocidad del viento: a) 2%; b) 1%; y c) 0% (se elimina el efecto del viento sobre la deriva de la carabela portuguesa). Como se puede observar, a medida que se reduce este porcentaje la región de procedencia de la carabela portuguesa se acerca más a costa, siendo menor la distancia recorrida en las 96 horas de simulación. Por consiguiente, el porcentaje de la velocidad del viento a utilizar en el LPTM es un parámetro importante para las estimaciones de la deriva, especialmente en condiciones de fuerte viento. Éste podría ajustarse con una mayor precisión mediante el análisis de datos de boyas de deriva superficiales que simulen los movimientos de una carabela portuguesa.

La Figura 10 muestra los resultados de una simulación con el LPTM iniciada el 24 de mayo de 2013 a las 18:18 h local y ejecutada hacia adelante en el tiempo hasta el 28 de mayo, utilizando los avistamientos virtuales de carabelas portuguesas de la Figura 7 localizados entre 43,5°N y 43,7°N. Como se puede observar en esta figura, las carabelas portuguesas localizadas inicialmente en la latitud 43,5°N derivan con las corrientes y los vientos superficiales para alcanzar la costa en un periodo que va desde unas pocas horas a poco más de un día. Sin embargo, a medida que nos desplazamos a mayores latitudes, las carabelas portuguesas tardan más tiempo en llegar a la costa, o bien no la alcanzan en las 96 horas de simulación, dando lugar a trayectorias con formas tan complejas como complejos son los campos de corrientes y vientos que las generan.

Adicionalmente a la implementación del protocolo operacional, tanto los contactos establecidos con los agentes y usuarios del mar como las acciones de comunicación y difusión relacionadas con esta iniciativa están siendo una parte importante de los resultados del trabajo desarrollado debido a su impacto socio-económico. Así, una nota de prensa comunicando la puesta en marcha del



EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

SEGURTASUN SAILA
Segurtasun Sailburuordetza
Lamiaklel Aurre Egiteko
eta Meteorologiako Zuzendaritza

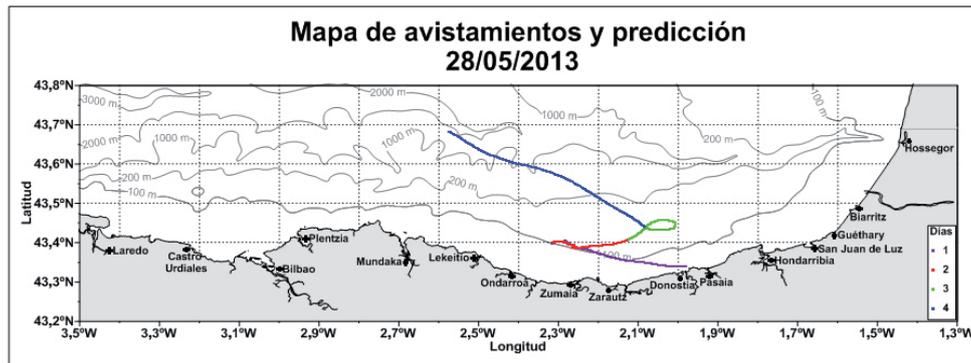
DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD
Viceconsejería de Seguridad
Dirección de Atención de Emergencias
y Meteorología

**HEZKUNTZA HIZKUNTZA
POLITIKA ETA KULTURA SAILA**
Uribestitate eta Ikasketak
Sailburuordetza
Zentzi Politikarako Zuzendaritza

**DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN,
POLÍTICA LINGÜÍSTICA Y CULTURA**
Viceconsejería de Universidades
e Investigación
Dirección de Política Científica



Informe de predicción de Carabela Portuguesa en la costa vasca



- Localización, día y hora de avistamientos:

43,34°N-1,98°W
Playa de La Zurriola (San Sebastián-Donostia)
28/05/2013 18:18 h

- Tipo, inicio y fin de la simulación de derivas:

Simulación hacia atrás en el tiempo
Inicio: 28/05/2013 18:18 h
Fin: 24/05/2013 19:18 h

- Riesgo de llegada a playas y costas
(registro real):

Playa de La Zurriola (San Sebastián-Donostia)
28/05/2013 18:18 h

- Región de procedencia
(simulación hacia atrás en el tiempo):

Aguas superficiales de talud
43,68°N-2,58°W
24/05/2013 19:18 h



Figura 8. Informe de predicción obtenido con el LPTM (Lagrangian Particle-Tracking Model) el 28 de mayo de 2013 utilizando un avistamiento real (localización / hora: 43,34°N-1,98°W / 18:18 h local) y mediante una simulación de 96 horas hacia atrás en el tiempo.

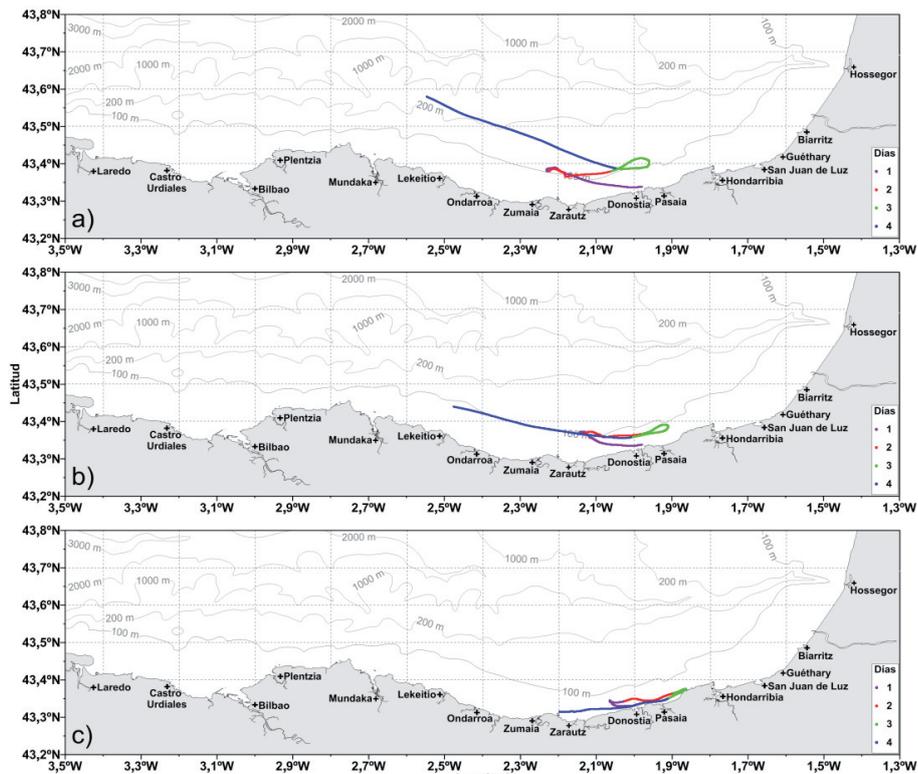


Figura 9. Resultados del modelo LPTM (Lagrangian Particle-Tracking Model) para el caso analizado en la Figura 8 utilizando diferentes porcentajes de la velocidad del viento: a) 2%; b) 1%; y c) 0% (se elimina el efecto del viento sobre la deriva de la caravela portuguesa).

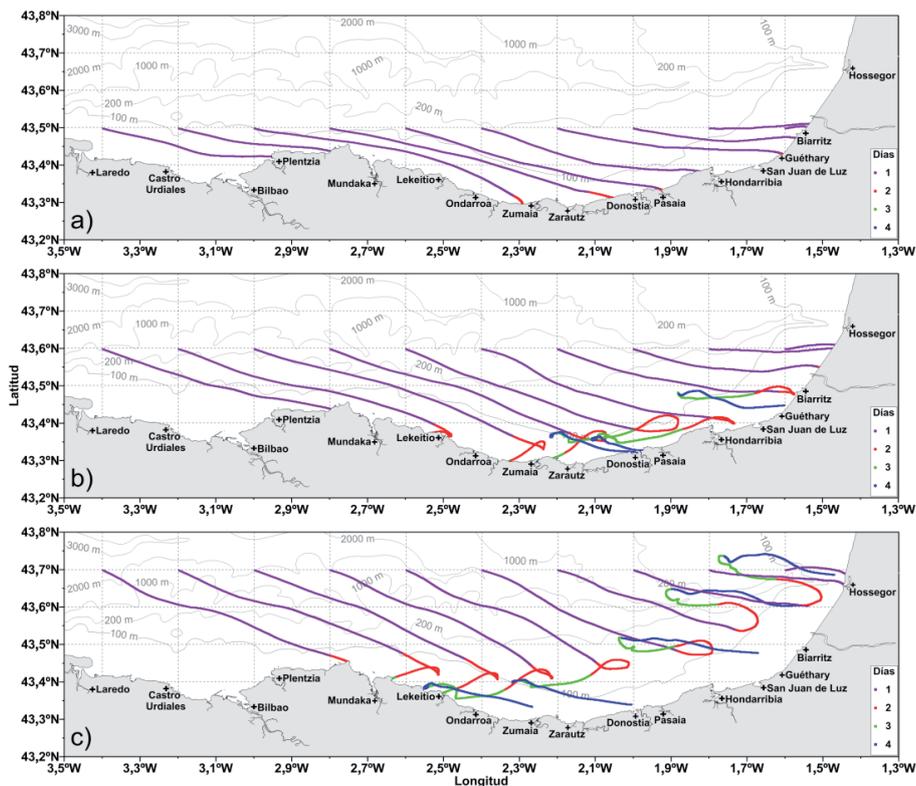


Figura 10. Resultados del modelo LPTM (Lagrangian Particle-Tracking Model) para una simulación de 96 horas hacia adelante en el tiempo, iniciada el 24 de mayo de 2013 a las 18:18 h local y utilizando los avistamientos virtuales de la Figura 7 localizados en las siguientes latitudes: a) 43,5°N; b) 43,6°N; y c) 43,7°N.

protocolo de actuación en 2012 tuvo un total de 30 impactos, repartidos de la siguiente forma: 4 en junio (previos a la nota), 24 en julio y 2 en agosto. La nota de prensa se vió reflejada en todas las principales cabeceras de los diarios del País Vasco (Gara, Berria, Deia, El Correo, El Diario Vasco y Noticias de Gipuzkoa), así como en sus versiones digitales.

El impacto social de la llegada de carabelas portuguesas a la costa vasca en 2012 también se reflejó en las noticias de televisión (Teleberri de ETB 2 y Eguraldia 24H del canal temático de Euskaltel) y radio (ABC Punto Radio, Cadena Ser Euskadi, y Onda Vasca en su programa Itsas tantak). Según datos de EGM, con la información aportada se consiguió llegar a una audiencia de 1.874.351 personas, con un impacto económico estimado de 38.051,44 euros. En cuanto a la presencia en web, en lo que respecta a las existentes en AZTI-Tecnalia (www.azti.es y www.itsasnet.com), la noticia se leyó 1.313 veces, y la guía de identificación y el formulario de registro de avistamientos se descargaron 352 y 403 veces, respectivamente. Asimismo, el protocolo de actuación se presentó en el congreso Ecoplayas, celebrado en Santander del 24 al 26 de octubre de 2012, en una sesión dedicada a medusas.

Conclusiones

Las principales **conclusiones** de este trabajo se resumen en las siguientes líneas:

- Durante el verano de 2012 se estableció y se puso en marcha en el sureste del golfo de Bizkaia un protocolo operacional para el avistamiento y seguimiento de carabelas portuguesas. Este protocolo de actuación consiste en el avistamiento de individuos en mar abierto y su seguimiento mediante la predicción a 96 horas de su deriva, adicional a las simulaciones diarias con avistamientos virtuales. El resultado de esta predicción, llevada a cabo con modelos numéricos de circulación y dispersión de partículas, es la generación de informes diarios sobre el riesgo en costa de posibles arribadas de organismos.
- El verano de 2012 fue un verano relativamente tranquilo en lo que a llegada de carabelas portuguesas se refiere. A diferencia de lo observado en 2010, no se registró la presencia de elevadas densidades de este organismo ni en la costa ni en la zona marina próxima. No obstante, las mayores llegadas a la costa ocurrieron el día 11 de agosto.
- El éxito del sistema de avistamiento y seguimiento de carabelas portuguesas establecido se debe en gran medida a la coordinación institucional, la participación de los principales agentes y usuarios del mar, y la amplia difusión que se está haciendo a la sociedad.

Las **propuestas de mejora** que se plantean para los próximos años son las siguientes:

- Se puede mejorar la modelización de la deriva de las carabelas portuguesas con nuevas observaciones y medidas que permitan un mejor conocimiento de este organismo, de manera que se puedan definir con mayor precisión parámetros que intervienen en el modelo de dispersión de partículas. Así, por ejemplo, se pueden mencionar la geometría del flotante y la densidad, puntos de fijación y dimensiones de los tentáculos.

- Algo similar se puede decir de factores físicos tales como el porcentaje de la velocidad del viento que se debería utilizar en el modelo de dispersión de partículas, o la precisión de las corrientes y los vientos estimados con los modelos de circulación oceánica y atmosférica. Desarrollar un modelo predictivo de alta resolución espacio-temporal para la costa vasca mejoraría las predicciones. También se propone la creación de un prototipo de boya carabela portuguesa para validar los resultados de los modelos y la metodología aplicada.
- El análisis de datos tanto físicos como biológicos podría clarificar en qué condiciones la carabela portuguesa puede persistir o proliferar. Asimismo, podría dar información sobre la capacidad de navegación de la carabela portuguesa en sus diferentes estadios de vida y su posible procedencia.
- Convendría ampliar la red de observadores en costa y, sobre todo, en alta mar, reduciendo al mínimo los tiempos de avisos de avistamientos de ejemplares; esto permitiría disponer con mayor antelación de información para los modelos numéricos y por consiguiente de una mejor planificación de las medidas correctoras a tomar.
- Con respecto a las labores de difusión y divulgación, sería necesario dar a conocer el proyecto antes de la época estival, con charlas en cofradías de pescadores, puertos y clubes deportivos (piragüismo, submarinismo, surf, etc.), ayuntamientos y administraciones en general. De esta manera se conseguiría una mayor participación de los agentes y usuarios del mar. Asimismo, es fundamental comenzar la campaña de avistamientos a primeros de junio y finalizarla a últimos de septiembre.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a todos los proveedores de datos en su esfuerzo por ofrecer información y, especialmente, a Casey Dunn, Elle Mikkelsen, Susan McManus, Keith Hiscock, Viv Beck, Vera Vukanic, Pedro Liria, Raúl Castro, Nils Halvard Lunde, Natalia B. López, TJOEBIE, JILLYSPOON y Arria Belli por el material fotográfico, así como a los desarrolladores del modelo ROMS (www.romsagrif.org) del instituto francés IRD (Institut de Recherche pour le Développement). Este estudio fue llevado a cabo con soporte financiero del Departamento de Educación, Política Lingüística y Cultura del Gobierno Vasco a través del programa "Proyectos de investigación básica y/o aplicada y proyectos en cooperación para el periodo 2013-2015", dentro del proyecto PI2013-01. También queremos agradecer el soporte financiero recibido en el pasado del Departamento de Industria, Innovación, Comercio y Turismo del Gobierno Vasco (programa ETORTEK, proyecto ITSASEUS); y a la Unión Europea por las ayudas dentro de la cooperación transnacional Aquitania-Euskadi (programa INTERREG IVa, proyecto LOREA). Este trabajo es la contribución no. 634 de AZTI-Tecnalia (Unidad de Investigación Marina).

Referencias

- Bardi, J., Marques, C.A., 2007. Taxonomic re-description of the Portuguese man-of-war, *Physalia physalis* (Cnidaria, Hydrozoa, Siphonophorae, Cystonectae) from Brazil. *Iheringia Ser. Zool.*, 97 (4), 425-433.
- Benson, D.J., 1992. Computational methods in Lagrangian and Eulerian hydrocodes. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, 99 (2-3), 235-394.
- Caballero, A., Ferrer, L., Rubio, A., Charria, G., Taylor, B.H., Grima, N., 2013. Monitoring of a quasi-stationary eddy in the Bay of Biscay by means of satellite, in situ and model results. *Deep-Sea Res. Pt. II: Top. Stud. Oceanogr.* (in press).
- Choi, B.-J., Wilkin, J.L., 2007. The effect of wind on the dispersal of the Hudson River plume. *J. Phys. Oceanogr.*, 37 (7), 1878-1897.
- Condon, R.H., Duarte, C.M., Pitt, K.A., Robinson, K.L., Lucas, C.H., Sutherland, K.R., Mianzan, H.W., Bogeberg, M., Purcell, J.E., Decker, M.B., Uye, S.-i., Madin, L.P., Brodeur, R.D., Haddock, S.H.D., Malej, A., Parry, G.D., Eriksen, E., Quiñones, J., Acha, M., Harvey, M., Arthur, J.M., Graham, W.M., 2013. Recurrent jellyfish blooms are a consequence of global oscillations. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 110 (3), 1000-1005.
- Conkright, M.E., Locarnini, R.A., Garcia, H.E., O'Brien, T.D., Boyer, T.P., Stephens, C., Antonov, J.I., 2002. *World Ocean Atlas 2001: Objective Analyses, Data Statistics, and Figures*, CD-ROM Documentation. National Oceanographic Data Center, Silver Spring, MD, 17pp.
- Debreu, L., Marchesiello, P., Penven, P., Cambon, G., 2011. Two-way nesting in split-explicit ocean models: Algorithms, implementation and validation. *Ocean Model.*, 49-50, 1-21.
- Di Lorenzo, E., Miller, A.J., Neilson, D.J., Cornuelle, B.D., Moisan, J.R., 2004. Modelling observed California current mesoscale eddies and the ecosystem response. *Int. J. Remote Sens.*, 25 (7-8), 1307-1312.
- Egbert, G.D., Bennett, A.F., Foreman, M.G.G., 1994. Topex/Poseidon Tides estimated using a Global Inverse Model. *J. Geophys. Res.*, 99 (C12), 24821-24852.
- Fairall, C.W., Bradley, E.F., Rogers, D.P., Edson, J.B., Young, G.S., 1996. Bulk parameterization of air-sea fluxes for Tropical Ocean-Global Atmosphere Coupled-Ocean Atmosphere Response Experiment. *J. Geophys. Res.*, 101 (C2), 3747-3764.
- Fairall, C.W., Bradley, E.F., Hare, J.E., Grachev, A.A., Edson, J.B., 2003. Bulk parameterization of air-sea fluxes: Updates and verification for the COARE algorithm. *J. Climate*, 16 (4), 571-591.
- Fallah, M.H., Stark, R.M., 1976. Random drift of an idealized oil patch. *Ocean Eng.*, 3 (2), 83-97.
- Ferrer, L., Caballero, A., 2011. Eddies in the Bay of Biscay: A numerical approximation. *J. Mar. Syst.*, 87 (2), 133-144.
- Ferrer, L., González, M., Valencia, V., Mader, J., Fontán, A., Uriarte, Ad., Caballero, A., 2007. Operational coastal systems in the Basque Country region: modelling and observations. *Proc. 17th Int. Offshore (Ocean) and Polar Eng. Conf., ISOPE*, Chung, J.S., Kashiwagi, M., Losada, I.J. & Chien, L.-K. (Eds.), 1-7 July 2007, Lisbon, Portugal, 3, 1736-1743.
- Ferrer, L., Fontán, A., Chust, G., Mader, J., González, M., Valencia, V., Uriarte, Ad., Collins, M.B., 2009. Low salinity plumes in the oceanic region of the Basque Country. *Cont. Shelf Res.*, 29 (8), 970-984.
- Fontán, A., Mader, J., González, M., Uriarte, Ad., Gyssels, P., Collins, M.B., 2006. Marine hydrodynamics between San Sebastián and Hondarribia (Guipúzcoa, northern Spain): field measurements and numerical modelling. *Sci. Mar.*, 70S1, June 2006, Barcelona, Spain, 51-63.
- González, M., Uriarte, Ad., Fontán, A., Mader, J., Gyssels, P., 2004. Marine dynamics. In: Borja, A. & Collins, M. (Eds.), *Oceanography and Marine Environment of the Basque Country*, Elsevier Oceanography Series, 70, 133-157.
- Haidvogel, D.B., Arango, H.G., Hedström, K.S., Beckmann, A., Malanotte-Rizzoli, P., Shchepetkin, A.F., 2000. Model evaluation experiments in the North Atlantic Basin: simulations in nonlinear terrain-following coordinates. *Dyn. Atmos. Oceans*, 32 (3-4), 239-281.
- Iosilevskii, G., Weihs, D., 2009. Hydrodynamics of sailing of the Portuguese man-of-war *Physalia physalis*. *J. R. Soc. Interface*, 6, 613-626.
- Koutsikopoulos, C., Le Cann, B., 1996. Physical processes and hydrological structures related to the Bay of Biscay anchovy. *Sci. Mar.*, 60 (Supl. 2), 9-19.
- Marchesiello, P., McWilliams, J.C., Shchepetkin, A., 2001. Open boundary conditions for long-term integrations of regional oceanic models. *Ocean Model.*, 3 (1), 1-20.
- Marchesiello, P., McWilliams, J.C., Shchepetkin, A., 2003. Equilibrium structure and dynamics of the California current system. *J. Phys. Oceanogr.*, 33 (4), 753-783.
- Penven, P., Lutjeharms, J.R.E., Marchesiello, P., Roy, C., Weeks, S.J., 2001. Generation of cyclonic eddies by the Agulhas current in the lee of the Agulhas bank. *Geophys. Res. Lett.*, 27 (6), 1055-1058.
- Shchepetkin, A.F., McWilliams, J.C., 2005. The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Model.*, 9 (4), 347-404.
- Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Wang, W., Powers, J.G., 2005. A description of the Advanced Research WRF Version 2. NCAR Technical Note, NCAR/TN-468+STR, 88pp.
- Song, Y.T., Haidvogel, D.B., 1994. A semi-implicit ocean circulation model using a generalized topography-following coordinate system. *J. Comp. Phys.*, 115 (1), 228-244.
- Totton, A.K., Mackie, G.O., 1960. *Studies on Physalia physalis (L.)*. Part I. Natural History and Morphology. Part II. Behaviour and Histology. *Discovery Reports*, Cambridge University Press, 30, 301-408.
- Wu, J., 1983. Sea-surface drift currents induced by wind and waves. *J. Phys. Oceanogr.*, 13 (8), 1441-1451.



www.azti.es

azti
tecnalia

Txatxaramendi ugartea z/g
48395 Sukarrieta (Bizkaia)
Tel.: +34 94 657 40 00
Fax: +34 94 657 25 55

Herrera Kaia, Portualdea z/g
20110 Pasaia (Gipuzkoa)

Parque Tecnológico de Bizkaia
Astondo bidea. Edificio 609.
48160 Derio (Bizkaia)