



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
Departamento de Biología



**Caracterización del hábitat abiótico oceánico de
Tursiops truncatus (Montagu, 1821), *Caretta
caretta* (Linnaeus, 1758) y *Globicephala
macrorhynchus* (Gray, 1846)
en el L.I.C. Franja Marina Santiago-Valle Gran Rey
(ES7020123) mediante técnicas de Teledetección.**

Diploma de Estudios Avanzados
Programa de Doctorado en Oceanografía
Bienio 2005-2007
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Alex REDONDO AROLAS

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de esta memoria de investigación no se hubiera realizado sin la ayuda, aportación y colaboración de varias personas e instituciones.

Al Dr. Antonio Juan González Ramos, como director de tesis.

Al Dr. Coca, como compañero.

A D. Vidal Martín, como presidente de la SECAC (Sociedad para el Estudio de los Cetáceos en el Archipiélago Canario) y responsable del programa CETOC (Socioecología y conservación de los cetáceos de las Islas Canarias), por aportar la base de datos de avistamientos, su experiencia y sus conocimientos sobre el asunto.

A la red SEASnet (Surveillance de l'Environnement Assisté par Satellites), de l'UNITÉ ESPACE, IRD, Francia.

A los laboratorios JPL (Jet Propulsion Laboratory) y al Ocean Color Web por su servicio de distribución de datos.

Al CLS-AVISO (Collecte, Localisation, Satellite-Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data) que facilitó los datos de anomalías del nivel del mar.

Resumen: Entre enero de 2004 y marzo de 2006 se marcaron electrónicamente (registradores de tiempo y profundidad de buceo) dos cetáceos (delfín mular *Tursiops truncatus* y calderón tropical *Globicephala macrorhynchus*) y un reptil (tortuga boba *Caretta caretta*) en aguas del LIC Comunitario *Franja Marina Santiago-Valle Gran Rey*. Paralelamente se utilizaron datos geofísicos obtenidos de satélites polares (SST, clor a, estrés de viento y SLA) en radiales ubicados al N y S del área de trabajo. El objetivo era el entender los desplazamientos de estas especies frente a la dinámica submesoescalar de ambos sectores N y S. *Caretta* presentaba un comportamiento poquilotérmica al ubicarse, según los campos de SST y de clor a, en las áreas de mayor calma al S de La Gomera. En el caso de los cetáceos sin embargo, los datos de marcado electrónico mostraron una clara asociación no fisiológica (por su rol de homotermos) pero sí trófica, entre *Tursiops* y *Globicephala* y las estructuras oceanográficas mesoescalares asociadas a la isla de La Gomera. La distribución de delfín mular, calderón y tortuga mostró hábitats distintos (por razones fisiológicas o tróficas) que reducía la competencia interespecífica entre ellas.

Palabras clave: Archipiélago Canario, isla de La Gomera, LIC Franja Marina Santiago-Valle Gran Rey, *Tursiops truncatus*, *Caretta caretta*, *Globicephala macrorhynchus*, Teledetección espacial, Temperatura superficial del mar, Clorofila, Bombeo de Ekman y Anomalías del nivel del mar.

Índice

1	Introducción.....	1
1.1-	El área de estudio.....	2
1.1.1-	La Franja marina Santiago-Valle Gran Rey.....	2
1.1.2-	El delfín mular (Montagu, 1821).....	3
1.1.3-	La tortuga boba (Linnaeus, 1758).....	5
1.1.4-	El Calderón Tropical (Gray, 1846).....	6
1.2-	Circulación general.....	7
1.3-	Parámetros oceanográficos	9
1.3.1-	Temperatura y salinidad	9
1.3.2-	Corrientes	9
1.3.3-	Nutrientes y productividad	10
2	Objetivo	10
3	Metodología.....	12
3.1-	Base de datos de observaciones de avistamientos y recorridos.....	12
3.2-	Datos de satélite.....	12
3.2.1-	Temperatura superficial del mar (SST).....	12
3.2.2-	Color del océano.....	14
3.2.3-	Bombeo de Ekman.....	17
3.2.4-	Anomalías del nivel del mar (SLA).....	19
3.3-	Generación de los shapefiles.....	22
3.4-	Generación de los mapas.....	22
3.5-	Extracción de valores	22
3.5.1-	Extracción en puntos fijos sobre el archipiélago.....	22
3.5.2-	Extracción de valores para avistamientos.....	23
4	Resultados.....	24
4.1-	Mapas.....	24
4.2-	Extracción en puntos fijos.....	24
4.3-	Extracción en puntos de avistamientos.....	33
5	Discusión.....	37
6	Conclusiones.....	40
7	Bibliografía.....	41
	Anexos.....	43

1 Introducción

Los límites orientales de los tres grandes océanos presentan una gran productividad biológica. En ellos se localizan los mayores sistemas de afloramiento del planeta y, por ende, los caladeros de pesca más importantes en cantidad e importancia económica. Como resultado, se hace imprescindible el conocimiento de los factores geofísicos y biológicos que controlan su dinámica. Estas áreas presentan una alta variabilidad espacio-temporal que queda reflejada en la forma contorneada de la zona frontal entre las aguas afloradas (frías y turbias) y las oceánicas (más cálidas y oligotróficas). También se observa la variabilidad en la presencia a lo largo de la línea de afloramiento N-S, de remolinos mesoescalares de carácter ciclónico y anticiclónico. Ello ocurre principalmente, en determinadas áreas en las que la plataforma continental se ensancha *offshore* (Cabo/Ghir, Cabo Bojador y Cabo Blanco). En estas áreas de plataforma extensa el afloramiento aparece más intenso y proyecta lenguas estrechas (*jets* advectivos) de agua fría y rica en nutrientes que se internan cientos de km hacia mar abierto. Estas estructuras son caracterizadas por un gradiente térmico lateral intenso y una elevada turbidez.

La segunda zona de interés, la Zona de Transición Costera (ZTC), surge de la interacción entre las aguas del afloramiento costero y las aguas oceánicas que tiene lugar en una zona muy característica con una extensión de pocos cientos de kilómetros N-S (Brink y Cowles, 1991) donde se comparten *materia, energía e información*. La ZTC de noroeste africano presenta algunas peculiaridades distintivas: Una línea de costa irregular con algunos cabos importantes, variaciones notables en la pendiente de la plataforma continental y la presencia del Archipiélago Canario y los bancos de Concepción y Dacia (Figura 1).

El archipiélago Canario (28-30 N, 13-19 W) está formado por islas típicamente oceánicas que carecen de una plataforma continental significativa y que surgen abruptamente desde profundidades de más de 2.000 metros, separadas por profundos canales y alcanzando cotas de altitud que pueden superar los 3.000 metros. De este modo, el archipiélago se comporta como una barrera que perturba el régimen de vientos dominante, los vientos alisios, y el flujo general de la Corriente de Canarias, porción más oriental del Giro Subtropical que fluye hacia el suroeste a través de la ZTCNA, actuando como mecanismo generador de estructuras mesoescalares que aumentan la variabilidad en esta zona (Pacheco y Hernández-Guerra, 1999).

Poco se ha escrito sin embargo, sobre la distribución espaciotemporal de especies pelágicas *in sensu stricto* como las tortugas y los delfínidos frente a este escenario geofísico y biológico. Las posibilidades tróficas que ofrece esta área en el afloramiento o las aguas adyacentes al archipiélago lo convierten en la zona de mayor diversidad de especies de cetáceos del planeta (**hay censadas 26, Martín *et al.*, 2000, pertenecientes a 6 familias (Balaenopteridae, Balaenidae, Ziphiidae, Kogiidae, Physeteridae y Delphinidae)**). Es además un punto de arribo, estancia (y reproducción) para distintas especies de quelónidos.

Este trabajo pretende por tanto, estudiar la etología y las diferentes estrategias de especies pelágicas frente al escenario meteoceánico que resulta de la interacción de los tres elementos que conforman las condiciones oceánicas de esta área: el afloramiento, la zona de transición y las estructuras mesoescalares que se generan en el archipiélago.

Para ello se estudiaron desplazamientos mediante marcas electrónicas (TDR: Registradores de Tiempo y Profundidad de Buceo) varios especímenes de ambos grupos taxonómicos.

1.1 El área de estudio

La isla de La Gomera, con una superficie de 370 km² y un perímetro costero de 92 km, la sexta en tamaño del archipiélago Canario. Exhibe numerosos contrastes paisajísticos y una topografía abrupta (posee una altitud de 1487 m), haciendo gala de una notable diversidad geográfica y ambiental. Posee un medio natural muy interesante y de gran belleza debido a sus barrancos, costas y riscos. La Gomera se localiza próxima a la isla de Tenerife, de la que dista unos 27 km., existiendo un estrecho y profundo cañón submarino entre ambas islas, cuya profundidad media es de unos 1500 m. La costa norte de La Gomera posee una de las plataformas insulares (hasta los 50 m de profundidad) más extensas de las islas Canarias.

Las peculiaridades biológicas del mar que baña las costas de La Gomera se deben a su posición geográfica, junto a fenómenos oceanográficos y a parámetros físicoquímicos del agua, confiriéndole una notable diversidad ambiental, que tiene un fiel reflejo en una biocenosis rica en especies, tanto en fauna vertebrada e invertebrada marina, bentónica y pelágica. Es de destacar la variedad de sus fondos (rocoso, arenoso...) y la fauna bentónica que presenta una alta diversidad con afinidad tropical, lo que le confiere una especial singularidad.

1.1.1 La Franja marina Santiago-Valle Gran Rey

Lugar de interés comunitario que forma parte de Natura 2000 (la red de espacios naturales europea para la conservación de los hábitats naturales y de las especies en el marco de un desarrollo sostenible) situado a sotavento de la isla de La Gomera. El relieve de la isla protege este sector del régimen de vientos del noreste (Alisios), dominantes en las Islas Canarias durante la mayor parte del año. Esta condición da lugar a unas aguas aplaceradas con una temperatura en superficie ligeramente superior a las masas de agua adyacentes, con un rango batimétrico amplio, pasando de las aguas someras litorales a aquellas oceánicas con profundidades superiores a los 1000 m en unas pocas millas náuticas. Este fenómeno propicia un aumento local de la productividad en sus aguas debido al *efecto isla* o *masa de isla* que ocasiona patrones de alta densidad de fitoplancton y zooplancton, y de los consumidores primarios, presas a su vez de cetáceos.

En la Franja marina Santiago – Valle Gran Rey existen escasos focos de un hábitat prioritario como es “Bancos de arena con débil cobertura permanente de agua marina” (**Natura 2000, Código 1110**), particularmente frente a las localidades de Valle Gran Rey y Playa Santiago, conocidos en Canarias como cebadales y que están formados por la fanerógama *Cymodocea nodosa*. Este hábitat alberga las condiciones ecológicas idóneas para albergar un gran número de especies marinas.

Las aguas de este L.I.C. presentan otro valor excepcional y es que representan el enclave con mayor diversidad de cetáceos con relación a su superficie de la Unión Europea, habiéndose comprobado la presencia de 21 especies de cetáceos, de las 26 señaladas para Canarias.

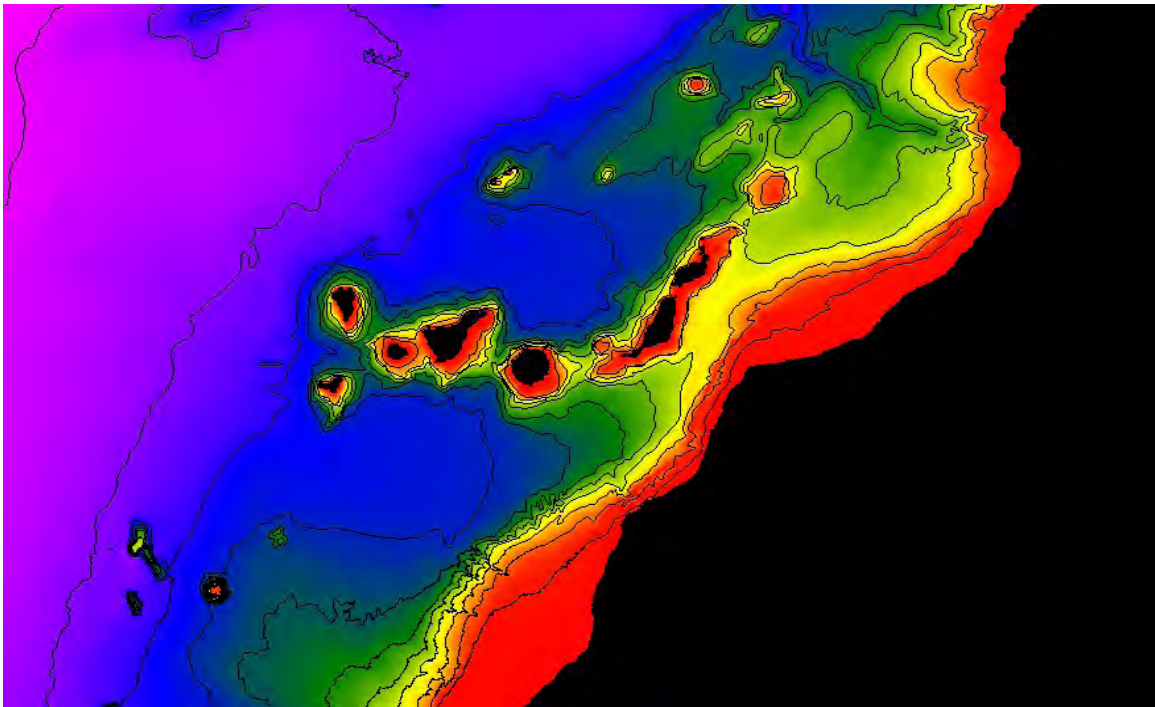


Figura 1. Área de estudio. Batimetría del área de Canarias. En rojo fondos de hasta 100 metros de profundidad, amarillo hasta 2000 m, verde hasta 3000 m, azul hasta 4000 metros y violeta hasta 5000 metros de profundidad.

1.1.2 El delfín mular (*Montagu, 1821*)

Nombre científico: *Tursiops truncatus*

Nombre vulgar: Delfín mular

Reino: *Animalia*; Filum: *Chordata*; Subphylum: *Vertebrata*; Infraphylum: *Gnathostomata*; Superclase: *Tetrapoda*; Clase: *Mammalia*; Subclase: *Eutheria*; Orden: *Cetacea*; Suborden: *Odontoceti*; Superfamilia: *Delphinoidea*;

Familia: *Delphinidae*

Subfamilia: *Delphinidae*

Género: *Tursiops*

Especie: *truncatus*

Características:

Peso: Entre 150-300 Kg de media.

Longitud: Hasta 3'9 m.

Longevidad: 25 años.

Hábitat: Aguas costeras y alta mar.

Distribución: Cosmopolita.

Alimentación: Carnívora (caballas, arenques, etc.). Ictiófago-teutófago (especies que se alimentan de peces y secundariamente de cefalópodos).

El delfín hace uso de la ecolocalización, es decir, emite ecos que le permiten cazar. Los sonidos de alta frecuencia detectan con una elevada precisión los objetos próximos al delfín, con los de baja frecuencia el delfín consigue localizar objetivos más alejados.

El delfín es un animal homodonto, o sea, todos sus dientes tienen la misma forma. Estudiando la forma de los dientes de un delfín podemos saber que come y a que especie pertenece dicho delfín. Además, los delfines tienen una única dentición, no existen los dientes de leche en esta especie.

Se distribuye en las aguas cálidas y templadas de todos los océanos, habiéndose adaptado a una amplia diversidad de ambientes marinos. Esta flexibilidad ha propiciado la creación de razas geográficas o ecotipos que difieren en tamaño, coloración, morfología, parámetros fisiológicos, comportamiento y organización social. En la actualidad, se distinguen dos formas: una nerítica que habita las aguas poco profundas de algunas ensenadas, estuarios y la plataforma continental, y otra pelágica que ocupa aguas estrictamente oceánicas, en ocasiones asociada a islas oceánicas como el caso del Archipiélago Canario.

El delfín mular o tonina, como es conocido en Canarias, reside a lo largo de todo el año en las aguas del archipiélago, muestra un elevado grado de fidelidad al área formando comunidades discretas en los sectores suroccidentales de algunas islas, como es el caso de La Gomera. Los delfines pueden utilizar las áreas costeras tanto para alimentarse como para descansar durante las horas de inactividad, probablemente en evitación de posibles predadores. Su aproximación a las costas se ve facilitada por las grandes profundidades que se alcanzan en las proximidades de éstas islas. La especie ha sufrido un proceso de rarificación en gran parte de su ámbito de distribución en aguas europeas, debido a sus hábitos costeros, que lo exponen de forma más directa a la interacción con diversas actividades antrópicas (*i.e.* tráfico marino, desarrollo turístico, actividad pesquera).

El L.I.C. de la Franja marina Santiago – Valle Gran Rey constituye el hábitat de una comunidad de delfines mulares (*Tursiops truncatus*), siendo crucial para la supervivencia de la especie en las islas al ser ésta, una zona de alimentación y reproducción, al igual que otras zonas del archipiélago como son los L.I.C.s marinos de la Franja marina Teno-Rasca en la isla de Tenerife o la Franja de Mogán en Gran Canaria, que presentan condiciones similares. El conjunto de estas zonas constituye el hábitat de esta especie en el archipiélago Canario.

El delfín mular está protegido por varios tratados y convenios internacionales ratificados por el estado español. (Anexos II y IV de la Directiva Hábitats aprobada por la CEE el 21 de Mayo de 1992, Catálogo Nacional de Especies Amenazadas y Catálogo regional de Canarias, donde aparece la especie clasificada como “Vulnerable”)

Predador generalista, situado en lo alto de la cadena trófica marina y exigente con su hábitat en términos de explotación de recursos.

La fauna epipelágica constituida por los pelágicos costeros (Scombridae, Engraulidae, Clupeidae, Coryphaenidae y Carangidae) de la Islas Canarias, representa un importante recurso para los delfines mulares. Tanto los recursos pelágicos costeros y demersales litorales forman parte de la dieta básica del delfín mular (Martín *et al.*, 2000).

Las conclusiones del proyecto LIFE “Apoyo a la conservación del delfín mular *Tursiops truncatus* y la tortuga boba *Caretta caretta* en Canarias (LIFE-B4-3200/97/247)”, pusieron de manifiesto que *Tursiops truncatus* tiene preferencias por determinados rangos de profundidad, cuyo significado ecológico estaría probablemente relacionado con los hábitos de alimentación. Así se desprende del examen de contenidos estomacales realizado a individuos varados, además de las observaciones en el mar, que demuestran que el delfín mular preda sobre un amplio espectro de presas en los L.I.C.

canarios, que va desde peces y cefalópodos epipelágicos y mesopelágicos hasta peces de hábitos costeros. Este factor podría explicar el porqué de la presencia de esta especie a lo largo de todo el año en la zona, ya que puede preda tanto los recursos costeros como aquellos de profundidad. Teniendo en cuenta que el nicho es ocupado principalmente por manadas de hembras adultas, con demandas energéticas elevadas, debido a la gestación, lactancia de su progenie.

En el presente estudio, el muestreo de los delfines se realizó identificándolos a través de fotografías de la aleta dorsal en función de las características morfológicas de ésta, y del lomo, así como el número y tamaño de las muescas, cortes y cicatrices.

Los muestreos se realizaron tanto dentro del L.I.C. como en el límite externo de éste, y en función de las condiciones del mar. Con una embarcación neumática de 5.5 m de eslora, el censo se realizaba mediante 2 observadores situados a proa de la embarcación, cubriendo 180° grados de visión cada uno. Cuando un individuo o grupo era detectado, la embarcación se aproximaba para su identificación y la toma de información necesaria, incluido un muestreo genético. Las técnicas de genética molecular contribuyen a solucionar cuestiones de estructura poblacional y a fortalecer los datos sobre las relaciones genéticas entre las diferentes poblaciones (proximidad y flujo genético).

1.1.3 La tortuga boba (*Linnaeus, 1758*)

Nombre científico: *Caretta caretta*

Nombre vulgar: Tortuga boba

Reino: *Metazoa*; Phylum: *Chordata*; Subphylum: *Vertebrata*;

Infraphylum: *Gnathostomata*; Superclase: *Tetrapoda*; Clase: *Reptilia*; Subclase: *Anapsida*; Orden: *Chelonii*; Suborden: *Cryptodira*; Superfamilia: *Chelonioidea*

Familia: *Cheloniidae*

Género: *Caretta*

Especie: *caretta*

Características:

Peso: Entre 100 y 150 kg. Generalmente, estas tortugas, no sobrepasan los 100 kg, pero los pesos máximos registrados en el Atlántico son de 477 kg y hay datos de ejemplares gigantes de esta especie que superaron los 700 kg. En nuestras costas, las longitudes rectas de caparazón, suelen ser inferiores a 122 cm.

Longitud: Entre 50 y 80 cm de media.

Longevidad: 30-60 años de media.

Distribución: Cosmopolita.

Alimentación: Carnívora. Son oportunistas. La dieta se compone de todo tipo de invertebrados marinos (cangrejos, caracolas, mejillones, pulpos...), especialmente aquellos de caparazón duro que rompen con sus poderosas mandíbulas. Consumen también algas, ascidias y peces.

Reproducción: Puesta unos 100 huevos. Se estima que la esperanza de vida de estos animales podría superar los 100 años. La madurez sexual se produce entre los 10 y 30 años dependiendo de las condiciones ambientales del lugar donde se desarrolle. Las hembras pueden hacer varias puestas por temporada y llegar a depositar hasta 200 huevos de una vez. Después de este gran esfuerzo, una misma hembra puede tardar más de dos años en volver a reproducirse. Si la temperatura es adecuada los huevos tardan alrededor de 60 días en eclosionar. No hay constancia de nidificación reciente de esta

especie en Canarias.

La tortuga boba es un animal poiquilotermo (sangre fría) por lo tanto su actividad metabólica depende de la temperatura externa o ambiental.. Es capaz de realizar migraciones de miles de kilómetros encontrándose en Canarias ejemplares previamente marcados en Estados Unidos . Es posible que realicen desplazamientos transoceánicos cíclicos, ayudadas de las corrientes marinas, de ida y retorno y que pueden durar varios años. Se cree que en sus largos recorridos se orientan por el campo magnético terrestre, gracias a las partículas de óxido de hierro que poseen en su cabeza. Capaz de adentrarse en zonas costeras e incluso penetrar en estuarios. Los ejemplares jóvenes se localizan generalmente en alta mar (pelágicos) bajo objetos flotantes, mientras que los adultos suelen vivir en zonas más costeras. La tortuga boba es básicamente carnívora, alimentándose principalmente de moluscos cefalópodos, equinodermos, crustáceos y otros invertebrados bentónicos.

Las tortugas son más activas durante el día. Hibernan en aguas profundas. Y aunque deben de subir a la superficie para respirar, pueden tardar semanas en emerger, ya que tienen la capacidad de absorber parcialmente el oxígeno del agua.

Su distribución es circunglobal y es, con diferencia, la tortuga marina más abundante en Canarias. Se han registrado nidos en playas de mares templados, subtropicales y tropicales (Atlántico, Indico, Mediterráneo, Pacífico), ejemplares erráticos se han registrado en aguas templadas y árticas (hasta los 70°N en Murmansk, URSS, y hasta los 35°S en Río de la Plata, Argentina).

La tortuga boba se encuentra en peligro de extinción a causa, fundamentalmente, de la pesca por palangre, la pesca de arrastre y de las heridas causados por hélices de barco. Las abundancias presentan un marcado patrón temporal. Aunque existen variaciones interanuales, debidas fundamentalmente a las condiciones oceanográficas que modifican las migraciones, la estacionalidad es muy evidente.

1.1.4 El Calderón Tropical (Gray, 1846)

Nombre científico: *Globicephala macrorhynchus*

Nombre vulgar: Calderón tropical

Reino: *Metazoa*; Phylum: *Chordata*; Subphylum: *Gnathostomata*; Superclase:

Tetrapoda; Clase: *Mammalia*; Subclase: *Eutheria*; Orden: *Cetacea*; Suborden:

Odontoceti

Familia: *Delphinidae*

Género: *Globicephala*

Especie: *macrorhynchus*

Aunque posee características morfológicas propias, es casi imposible distinguirlo en el mar de otra especie de calderón, el de aleta larga o común (*Globicephala melas*), casi idéntico en el tamaño y morfología. Es una especie de cuerpo esbelto, aunque corpulento, y de gran tamaño, las hembras pueden alcanzar los 5-5,5 m, y los machos incluso algo más. El peso puede llegar a las 4 toneladas.

Hábitat: Preferencia por aguas profundas, bordeando la plataforma continental y cercanías de cañones submarinos profundos.

Se distribuye ampliamente, aunque debido a su confusión con el calderón de aleta larga,

no se tienen datos exactos de los límites de su área de distribución, pudiendo situarse éstos entre los 50° N y los 40° S. Parece seguro que prefiere regiones tropicales, de aguas más cálidas. A veces se pueden desplazar siguiendo el curso de estas corrientes de aguas cálidas, lo que es interpretado por algunos autores como cierto carácter migratorio.

Reproducción: Se cree que tienen una larga temporada de reproducción. Las hembras son maduras sexualmente desde los 9 años hasta los 35, aunque parece ser que pueden amamantar crías de otras hembras hasta otros 15 años más, sugiriendo así una compleja estructura social en la que las hembras cuidan crías de otras. Los machos alcanzan la madurez sexual entre los 14 y los 17 años, y probablemente pueden reproducirse toda su vida.

Longevidad: parece situarse sobre los 63 años de media en los machos y los 46 en las hembras. Tras una gestación de 15-16 meses nace una cría de 1,4-2 m y 60 Kg de peso. Las hembras paren de 4 a 5 crías en su vida.

Alimentación: Su dieta está compuesta fundamentalmente por calamares y peces, llegando a alcanzar los 600 m de profundidad para capturarlos.

Comportamiento y estructura social: El calderón tropical suele viajar en grupos de varias decenas de individuos, aunque en ocasiones pueden encontrarse grupos con menos efectivos, pero casi nunca en solitario. No es raro verle cerca de las embarcaciones, hecho que es aprovechado por la industria del *whale-watching* de determinados lugares, como por ejemplo las Islas Canarias, donde esta especie se ha convertido en un verdadero emblema del archipiélago.

1.2 Circulación general

La Corriente de Canarias es una corriente fría que forma parte del margen oriental del Giro Subtropical del Atlántico Norte. Ésta fluye hacia el suroeste pasando a través del archipiélago canario, y se separa de la costa africana a la altura de Cabo Blanco (21° N). La mayor parte del transporte de esta corriente tiene lugar a una profundidad menor de 200 m (Stramma, 1984). Stramma y Siedler (1988) a través del análisis de datos históricos de temperatura y salinidad, observan como el giro experimenta una compresión norte-sur en verano, lo que provoca una intensificación de la Corriente de Canarias cerca de la costa africana, mientras que en invierno es más fuerte al oeste del archipiélago canario. En la zona de estudio el afloramiento costero africano presenta un carácter estacional que está relacionado con el comportamiento del régimen de vientos alisios en el área. De este modo, el afloramiento muestra mayor intensidad en verano y principios de otoño, mientras que aparece reducido o ausente el resto del año (Wooster *et al.*, 1976; Speth y Detflefsen, 1982, Nykjaer y Van Camp, 1994). Los filamentos de afloramiento, sí presentan un marcado carácter estacional, condicionado en base por el régimen de intensificación y relajamiento de los vientos alisios. El afloramiento es un fenómeno variable a lo largo de la costa y en la zona de estudio aparece localmente reforzado al sur de Cabo Bojador, en la región donde se ensancha la plataforma (García-Weil, 1998). Debido al afloramiento de aguas frías y profundas en la costa africana,

existe un gradiente zonal de temperatura superficial del mar entre las islas orientales y las occidentales que oscila entre 1 y 3 grados centígrados (aguas más frías en las islas orientales).

Mediante escenas satelitales de la temperatura superficial del mar (*SST*) (La Violette, 1974; Van Camp *et al.*, 1991) y del color del océano (*i.e.* concentración de pigmentos clorofílicos) (Pacheco y Hemández-Guerra, 1999) así como a través de la medición *in situ* de parámetros físicos y biológicos (Aristegui *et al.*, 1997; Barton *et al.*, 1998) se ha evidenciado la alta actividad mesoescalar existente en esta zona, apareciendo en estos estudios diversas estructuras asociadas a las islas, principalmente remolinos ciclónicos y anticiclónicos al sur del archipiélago y filamentos de agua fría que se extienden hacia mar abierto desde determinadas zonas del afloramiento africano llegando a alcanzar algunas veces las islas.

Los remolinos ciclónicos que se forman a sotavento de las islas oceánicas pueden suponer una fuente de nitrógeno a las capas superficiales del océano con importantes consecuencias en aguas oligotróficas. La rotación ciclónica de estas estructuras, produce flujos divergentes en superficie, lo que conlleva un enriquecimiento de la capa fótica producido por el flujo ascendente y el ascenso de la nutriclina (Owen, 1980). Esta entrada de nutrientes de origen alóctono abastece a la que de otro modo sería una zona fótica oligotrófica, dando lugar a un incremento de la producción primaria y de la biomasa (Simpson *et al.*, 1982; Falkowski *et al.*, 1991). Los remolinos presentan características bioquímicas significativamente distintas a las aguas circundantes, pudiendo afectar a la distribución de organismos zooplanctónicos o a la supervivencia de huevos y larvas planctónicas de peces (Cresswell y holding, 1980; Owen, 1981). La generación de los remolinos no está restringida a la presencia de islas. Los promontorios (Arthur, 1965), las montañas submarinas (Boden, 1952) y los arrecifes de coral pueden ser causa de formación de remolinos.

Una fuente adicional de nutrientes y materia orgánica en esta zona podría deberse a intrusiones del frente del afloramiento africano o de filamentos del afloramiento que eventualmente alcanzaran esta área (Van Camp *et al.*, 1991).

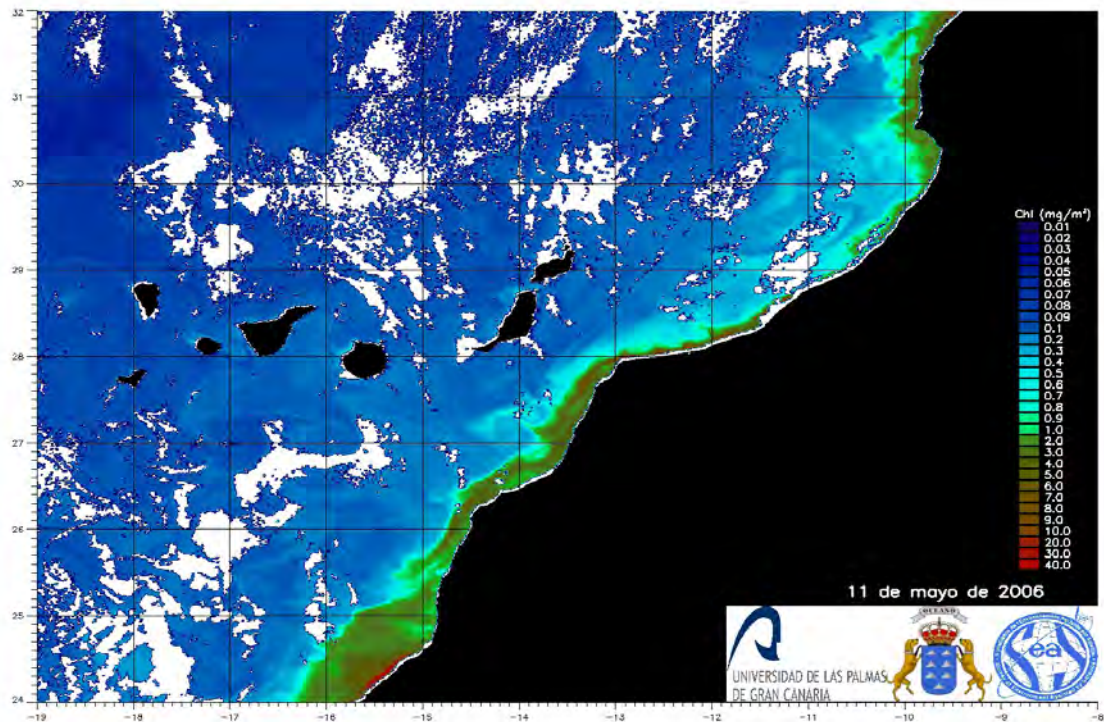


Figura 2. Mapa del color del océano (mayo de 2006) en el área del archipiélago canario.

1.3 Parámetros oceanográficos

1.3.1 Temperatura y salinidad

La temperatura no es la esperada para estas latitudes debido a que se ve modificada por la corriente fría de Canarias y los afloramientos de la vecina costa africana. La temperatura varía entre los 17 y 18 grados centígrados en invierno, y los 22 y 23 grados centígrados del verano. Debido al afloramiento de la costa africana existe un gradiente de temperatura entre las islas orientales (Lanzarote y Fuerteventura) y las islas occidentales del orden de 1 a 3 grados centígrados.

En los meses de junio y julio se desarrolla una termoclina estacional en aguas superficiales (entre los 50 y los 120 metros de profundidad), que desaparece en invierno y a principios de la primavera, motivando un aumento en el espesor de la capa de mezcla. La salinidad en la superficie aumenta con la distancia del continente africano, experimentando poca variación en la superficie. No obstante, a partir de los 100 metros de profundidad, la temperatura disminuye gradualmente hasta los 1.100 y 1.300 metros donde experimenta un ligero aumento debido a la presencia a esa profundidad de aguas mediterráneas.

1.3.2 Corrientes

La corriente de Canarias es la rama descendente de la corriente del Golfo, y fluye en dirección S-SO atravesando las islas llevando aguas frías. Ésta es más notoria en las

islas orientales, donde alcanza las mayores velocidades entre los pasillos interinsulares (60 cm/s). No obstante, la velocidad en la superficie es generalmente lenta, especialmente durante el verano.

Las islas actúan como pantallas respecto a la misma dando lugar en algunas zonas al efecto de "masa o sombra de isla". Estas áreas de calma, se localizan generalmente en las vertientes suroccidentales o sotavento de las islas y presentan temperaturas elevadas debido a que la mezcla de masas de agua es escasa.

1.3.3 Nutrientes y productividad

Las aguas que circundan el Archipiélago Canario son estrictamente oceánicas, y por lo tanto tienen un carácter oligotrófico. Los nutrientes son escasos en las zonas eufóticas y se mantienen constantes durante todo el año, excepto una pequeña variación, que presenta sus mínimos en el verano. Sin embargo, existen puntos con valores más elevados, motivados por turbulencias del ya mencionado efecto masa de isla.

2 Objetivo

En un marco de gestión operacional con perspectivas de una gestión adecuada, las densidades de cetáceos y quelonidos en aguas superficiales de las Islas Canarias en general y de La Gomera en particular, siguen representando un importante recurso estratégico de biodiversidad por su valor, y siguen mereciendo una atención conservacionista especial por parte de la Administración Autonómica Canaria.

Las áreas marinas protegidas son una eficaz herramienta para preservar el medio ambiente marino y, por ende, a las comunidades de cetáceos con hábitos costeros como el delfín mular u otras especies como la Tortuga boba.

Conviene considerar que aunque en el caso de los delfines mulares hablamos de animales capaces de realizar grandes desplazamientos, tienen ciertas preferencias por determinados sectores dentro de ámbito de distribución donde realizan la mayoría de sus funciones cotidianas, siendo determinantes para la alimentación, la reproducción y por tanto para la supervivencia de la especie en la región.

La aplicación de técnicas de teledetección permite obtener información representativa del hábitat del delfín mular.

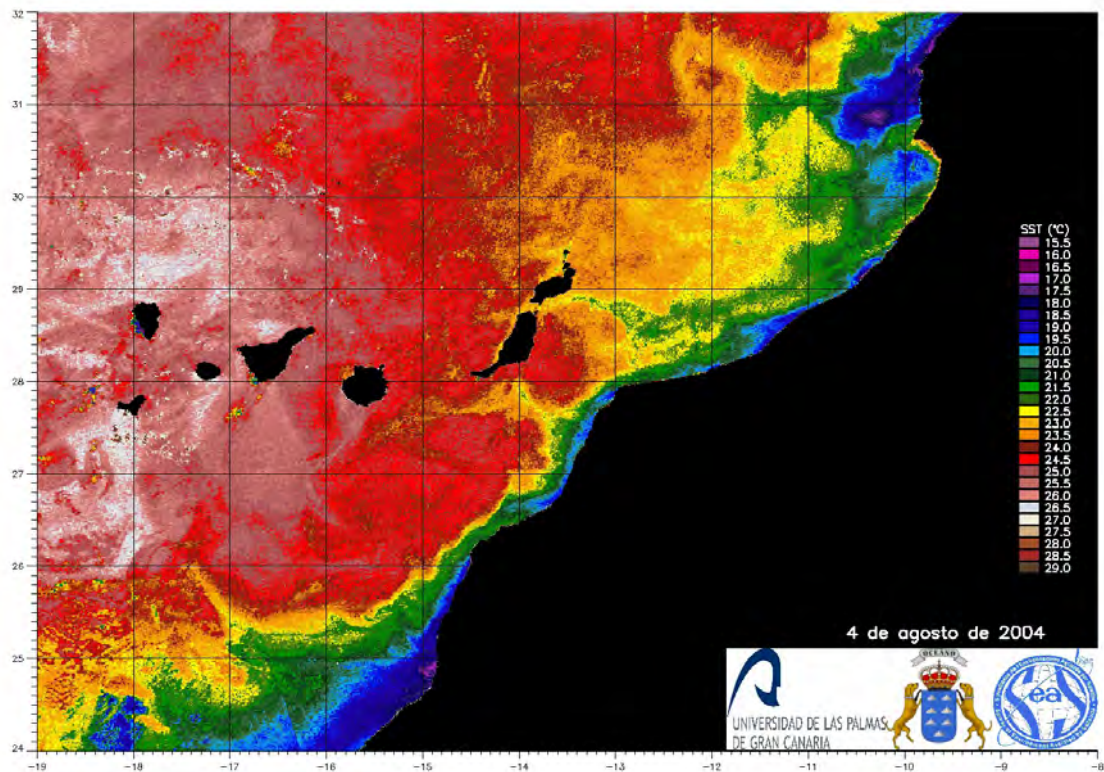


Figura 3. Mapa de temperatura superficial del mar (agosto de 2004) en el área del archipiélago Canario.

El objetivo del presente trabajo es el de obtener información representativa del hábitat de las especies objeto de estudio, mediante técnicas de teledetección, con la finalidad de entender cuales son sus requerimientos ambientales. Ya que la comprensión de esta información en toda su dimensión es fundamental para garantizar la conservación de estas especies en la zona de estudio.

La utilización de este tipo de metodologías vía satélite para estudiar las condiciones oceánicas y la localización de eventos oceánicos desde el espacio, permitiría entender los desplazamientos submesoescalares (O: 100 km., semana) de estas especies en la zona de estudio.

3 Metodología

3.1 Base de datos de observaciones de avistamientos y recorridos

La SECAC (Sociedad para el Estudio de los Cetáceos del Archipiélago Canario) facilitó la base de datos de observaciones de campo. La base de datos se estructuraba en tres bloques. El primer bloque correspondía a los avistamientos de tortuga boba (*Caretta caretta*). El segundo bloque correspondía a los avistamientos de diferentes especies de cetáceos. Finalmente, el tercer bloque correspondía a recorridos de seguimiento de cetáceos.

Todos los bloques contenían información de fecha, latitud y longitud para los datos contenidos en la base de datos. Esto permitió su correspondencia con las informaciones derivadas de satélite. La base de datos contenía información de los años 2004 al 2006.

3.2 Datos de satélite

La base de datos de las diferentes variables geofísicas utilizadas en el presente trabajo consta de datos de temperatura superficial del mar (SST), concentración de clorofila-a, bombeo de Ekman y anomalía del nivel del mar (SLA).

Los datos han sido recibidos y/o procesados en las Estación SeaS Canarias del departamento de biología de la ULPGC según las metodologías que se describen a continuación.

3.2.1 Temperatura superficial del mar (SST)

La medida de la SST puede hacerse a partir de dos tipos de sensores radicalmente diferentes. Unos trabajan en el rango de las microondas y los otros en el infrarrojo térmico. Los primeros, como el SMMR (*Scanning Multichannel Microwave Radiometer*), presentan una resolución muy pobre y sus resultados son bastante inexactos. Los otros presentan una buena resolución y sus resultados son muy precisos. Los sensores operacionales útiles operan en el infrarrojo térmico. Los satélites NOAA, cuyo programa se inició en los años setenta y continuará al menos hasta el 2008, se caracterizan por la órbita simultánea de al menos dos satélites, un amplio campo de visión (2700 Km.), lo cual da lugar a una alta repetitividad temporal, y una buena resolución espacial (1,1 Km. en el nadir).

En el infrarrojo térmico, la hidrosfera se comporta como un cuerpo negro, esto es un cuerpo teórico que, a una temperatura dada, absorbe la totalidad de la radiación que recibe y la reemite en su totalidad. Los cuerpos reciben energía de su medioambiente

(por ejemplo, del Sol) y la radiación que reciben la pueden absorber en mayor o menor medida. La fracción absorbida modifica la energía del cuerpo, pudiendo ser reemitida en forma de radiación a otra longitud de onda. Así, el cuerpo juega el papel de fuente, transformando parte de la energía térmica en energía radiativa.

La radiancia emitida por la superficie del mar es medida por el sensor y se convierte en temperatura de brillo o temperatura aparente, que se relaciona con la temperatura real del océano por la emisividad. La radiancia medida por el sensor atraviesa la atmósfera, donde la radiación se ve alterada. La principal perturbación que sufre es debida a la presencia de vapor de agua, que absorbe parte de la radiación. Por esta razón, la temperatura de brillo y la absoluta difieren en varios grados. Las correcciones pueden realizarse a partir de modelos analíticos que piden gran cantidad de datos o a partir de modelos empíricos. En el segundo caso, sólo se precisa de medidas *in situ* de calidad.

Las propiedades del vapor de agua en el infrarrojo han sido estudiadas ampliamente, sobretodo la transmisión diferencial según la banda espectral. El método *multi-window* utiliza esta propiedad para reducir el efecto del contenido atmosférico. Consiste en una combinación lineal de las medidas de temperatura de brillo hechas en varios canales. El método *split-window* es un método particular del *multi-window* usando los canales 4 y 5 del AVHRR.

Los datos de temperatura utilizados provienen del programa NOAA/NASA AVHRR *Ocean Pathfinder Sea Surface Temperature Products*, desarrollado por el JPL (*Jet Propulsion Laboratory*) de la NASA. Este programa consiste en una base de datos de temperatura superficial del mar obtenida por el sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) que llevan a bordo los satélites operacionales de la serie NOAA.

El algoritmo utilizado para la obtención de la temperatura superficial del mar fue el MCSST, propuesto por McClain *et al.* (1985):

$$SST = \alpha_1 + \alpha_2 T_4 + \gamma(T_4 - T_5),$$

donde: α_1 y α_2 son constantes obtenidas por mínimos cuadrados en base a datos tomados *in situ*, T_4 y T_5 son las temperaturas de brillo del canal 4 y 5 del sensor, y γ es un factor basado en el conocimiento de los coeficientes de absorción (Emery *et al.*, 1994). En esta fórmula no se contempla corrección alguna por atenuación debida al vapor de agua.

Posteriormente, se introduce un algoritmo no lineal, denominado NLSST, que incorpora una estimación inicial de la temperatura superficial del mar, donde los coeficientes se calculan para diferentes regímenes de vapor de agua definidos por la diferencia entre T_4 y T_5 . La forma final del algoritmo NLSST utilizado en el programa *Pathfinder*, según esta particularidad, se formula de la siguiente manera:

$$SST = \alpha_1 + \alpha_2 T_4 + \alpha_3 (T_4 - T_5) T_{surf} + \alpha_4 (\sec(\theta) - 1)(T_4 - T_5),$$

donde: α_1 , α_2 , α_3 y α_4 son constantes obtenidas por mínimos cuadrados en base a datos tomados *in situ*, T_4 y T_5 son las temperaturas de brillo de los canales 4 y 5 del sensor, T_{surf} es el primer valor de temperatura superficial calculado, y θ es el ángulo de

visión del radiómetro. Los coeficientes del algoritmo se calculan para T_4 y $T_5 \leq 0,7$ y T_4 y $T_5 \geq 0,7$. Esta forma del algoritmo ha sido la aprobada por el *AVHRR Oceans Science Working Group* para el reprocesamiento de los datos MCSST porque es la que tiende al menor error por efecto de las condiciones ambientales (Podesta *et al.*, 1995). La no-linealidad proviene de los coeficientes calculados para diferentes condiciones de vapor de agua. Estos coeficientes se recalculan anualmente para tres tramos de diferencias entre T_4 y T_5 .

Para la calibración de las medidas se utiliza la medida puntual de una sonda en los primeros decímetros de la superficie y se compara con una medida integrada en más de 1 km^2 sobre los primeros micrómetros de la superficie del mar. Si las capas inferiores son homogéneas, las medidas serán significativas (presencia de viento y ausencia de sobrecalentamiento superficial); por el contrario, si las capas inferiores están muy estratificadas, las dos medidas serán diferentes. Con mucho viento, sin embargo, puede producirse una subestimación de la temperatura debido a la espuma.

En la ecuación se introduce el ángulo zenital para tener en cuenta que las medidas alejadas del nadir han recorrido una capa más larga de atmósfera. Además, debido al ángulo de visión, cubren una superficie hasta cinco veces mayor que las correspondientes al nadir.

Un tercer tipo de error lo producen las nubes que contaminan fuertemente las medidas. Las nubes producen subestimaciones de la temperatura. La máscara de nubes elimina las radiancias demasiado bajas para corresponder a temperaturas de la superficie del mar.

Para la obtención de las imágenes de temperatura superficial del mar, se dispuso de datos diarios del sensor AVHRR, de 1 Km. de resolución aproximadamente en una proyección equidistante cilíndrica, recibidos por la antena de la estación SeaS (Servicio de ecología asistido por Satélite) – Canarias, del Departamento de biología de la ULPGC. Con la finalidad de minimizar el problema de la cobertura nubosa se realizaron síntesis de cinco días, en las que se utilizó la imagen del día, las de los dos días anteriores y las de los dos posteriores. El valor de temperatura superficial del mar, se obtuvo mediante la síntesis de imágenes de un mismo día utilizando el píxel más caliente, a través de una cadena de procesamiento basada en lenguaje JAVA® (IRD-ULPGC). El periodo de tiempo de los datos utilizados comprendió los años 2004, desde enero, hasta el mes de octubre de 2006.

3.2.2 Color del océano

El primer sensor para medir el color del océano fue el CZCS (*Coastal Zone Color Scanner*) situado a bordo del Nimbus-7. Su fallo prematuro en 1987 dejó sin datos de este tipo durante muchos años a la comunidad científica. En agosto de 1997, se puso en órbita el Orbview-2 con el sensor SeaWiFS (*Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor*). Su resolución espacial en el nadir es de 1 Km. y el campo de visión es de 2800 Km. Sus ocho canales, que van desde el verde hasta el infrarrojo cercano, analizan con gran precisión los componentes del agua de mar y su concentración. El canal 1 se utiliza para distinguir la sustancia amarilla; los canales 2, 3 y 4 para calcular la concentración de

clorofila; y los canales 5, 6, 7 y 8 para evaluar la turbidez y corregir los efectos atmosféricos. Regularmente, se hace una calibración doble del sensor en dirección al sol y a la luna, afinando el ajuste de sus radiancias. Otra particularidad de la plataforma es permitir una inclinación rápida ($\pm 20^\circ$) a lo largo de la traza del satélite (*tilt*), lo que evita la reflexión especular. El inconveniente es la pérdida de datos en varias decenas de millas en la zona intertropical durante la maniobra, que tarda algunos segundos.

En el rango del espectro visible, las longitudes de onda lo suficientemente pequeñas penetran en el agua y se absorben de manera rápida hasta una cierta profundidad. En el visible, el rojo (aproximadamente 750 nm) se absorbe más rápidamente que el azul (aproximadamente 350 nm). La profundidad de absorción total de la luz es función de la composición del agua. Las aguas naturales dulces y saladas contienen una mezcla de materias disueltas, ópticamente activas, variables en naturaleza y concentración; en consecuencia, sus propiedades ópticas varían mucho en el espacio y en el tiempo. Se distinguen dos categorías de materia en el agua: la materia disuelta y la particulada. De manera arbitraria, se considera materia disuelta toda aquella cuyo tamaño es inferior a $0,47 \mu\text{m}$. La materia orgánica disuelta comprende los ácidos húmicos y fúlvicos productos de la descomposición de la materia vegetal conocidos con el término alemán *gelbstoff*. En el caso de aguas abiertas corresponde a la descomposición de zooplancton y fitoplancton al final de los *blooms*. En mar abierto, la materia particulada se compone también de zooplancton y fitoplancton vivo. Las concentraciones no suelen superar los $0,5 \text{ mg/m}^3$, aunque pueden ser muy variables. Estas variaciones, debidas a *blooms* de fitoplancton, son muy importantes para las cadenas tróficas pelágicas. Cerca de la costa puede sumarse arena o sedimentos cuya concentración varía con la profundidad y el movimiento del mar (desde algunos mg/m^3 a centenas de mg/m^3). En los estuarios, los aportes llegan al orden de 1 gr/m^3 , además de la resuspensión de sedimentos hacia la columna de agua (por ejemplo, debido a la marea).

El cálculo se reduce a las aguas caso 1, donde el color se relaciona directamente con el fitoplancton. Se trata de relacionar las magnitudes medidas con el satélite con las cantidades reales medidas en el terreno. El satélite mide radiancias, magnitud que depende de las propiedades del medio y de la atenuación, y que puede explicarse en función de la reflectancia. La reflectancia es una propiedad óptica aparente (*Apparent Optical Properties*, AOP).

Las propiedades ópticas aparentes se definen en contraposición a las propiedades ópticas inherentes (*Inherent Optical Properties*, IOP). Las propiedades ópticas inherentes de una masa de agua dependen únicamente de su composición y no de las condiciones de atenuación. Por ejemplo, los coeficientes de absorción y de dispersión forman parte de las propiedades ópticas inherentes.

Localmente, la atenuación varía rápidamente (presencia de nubes, ángulo de incidencia y estado de la superficie del mar). Con el fin de evitar esta limitación, se pretende utilizar las propiedades inherentes de la masa de agua. La radiancia medida por un satélite se explica en función de múltiples variables, como la atenuación extra-atmosférica, pero también de la reflectancia bajo la superficie que contiene la información del color del agua. La radiancia reflejada medida por el satélite (L_{wn}) se calcula como:

$$L_{wn} = F_0 \frac{(1-\rho)(1-\rho')R}{n^2(1-rR)Q}$$

donde: F_0 es la atenuación extra-atmosférica, n es el índice de refracción del agua de mar, R es la reflectancia debida a la transferencia radiativa función de la luz incidente y de las propiedades ópticas inherentes, ρ es la reflectancia de Fresnel por incidencia normal, ρ' es la reflectancia de Fresnel por el sol y el cielo, r es la reflectancia del aire-agua, y Q es la constante que relaciona la atenuación ascendente bajo la superficie con la radiancia ascendente bajo la superficie.

En la ecuación, el cociente tiene en cuenta los procesos de interfaz entre miles de índices de refracción diferentes (R). Varía poco en función de las longitudes de onda y su valor es 0,545. Además, la reflectancia debida a la transferencia radiativa puede expresarse en función de las propiedades ópticas inherentes, como los coeficientes de absorción y de retrodispersión.

$$R(\lambda) = G(\mu_0\lambda) \frac{b_b(\lambda)}{a(\lambda)},$$

donde: $G(\mu_0\lambda)$ es el campo de luz descendente, $a(\lambda)$ el coeficiente de absorción, y $b_b(\lambda)$ el coeficiente de retrodispersión.

Los coeficientes de absorción y de retrodispersión dependen de las concentraciones de los diferentes componentes ópticamente activos y de sus respectivos coeficientes por unidad de concentración. Estos últimos se calculan en base a medidas tomadas sobre el terreno o en el laboratorio.

La técnica más utilizada para calcular la concentración de clorofila o de otros constituyentes es la relación entre radiancias. Se elige una banda en la que su radiancia sea muy sensible y se normaliza eligiendo la radiancia a una longitud de onda a la que es poco sensible. La clorofila-a absorbe fuertemente en la banda del azul y su reflectancia es débil; en el verde, el pigmento absorbe poco y refleja mucho. La relación entre radiancias ($L_{\text{azul}}/L_{\text{verde}}$) permite eliminar los efectos de un ambiente particular sobre la luz incidente y calcular la concentración de clorofila.

En las longitudes de onda del visible, la radiancia medida por el sensor se ve afectada de manera importante por la atmósfera. Las partículas (agua, aerosoles) absorben fuertemente la radiación y la dispersan, por tanto la corrección atmosférica de los datos es fundamental.

En aguas abiertas, el color del agua depende fundamentalmente de la concentración de clorofila. Por el contrario, en aguas caso 2 (aguas costeras), la interpretación de las medidas radiométricas es más compleja, debido a la presencia simultánea de materia orgánica disuelta, materia particulada y pigmentos clorofilicos. La cuantificación de esos tres constituyentes requiere numerosos datos de tierra y lo que se obtiene son modelos locales.

En cuanto a la combinación de canales, es necesario realizar la elección óptima para la relación de radiancias en el algoritmo.

Las medidas *in situ* son fundamentales para la calibración del sensor, pero su toma no es evidente. Los radiómetros se colocan debajo de la superficie del agua y están influidos por la presencia de nubes, espuma,.... Además, la profundidad de integración

depende de la región.

Para la obtención de las imágenes de clorofila, se dispuso de datos diarios a partir del sensor americano SeaWiFS/OrbView2 de 1 Km. de resolución aproximadamente, recibidos por la antena de la estación SeaSCanarias en tiempo real desde enero de 2004 hasta septiembre de 2006. Se generaron imágenes diarias de la variable geofísica usando el programa SeaDAS desarrollado por la NASA.

3.2.3 Bombeo de Ekman

El conocimiento del vector de viento tiene una importancia crítica en la comprensión y predicción de muchos fenómenos oceanográficos y meteorológicos. La tensión del viento, que constituye la mayor fuente de momento sobre la superficie del océano, contribuye a la dinámica oceánica desde las ondas superficiales hasta los sistemas de corrientes a nivel de cuenca. El viento sobre el océano regula el crucial acoplamiento entre la atmósfera y el océano, por lo que afecta al clima a nivel global y regional y modula los flujos de calor aire-mar, humedad y sustancias químicas.

La tensión que produce un campo de viento sobre la superficie del mar y su irregular forma de actuar sobre un área, produce desplazamientos horizontales de las masas de agua, que se ven compensados por descensos (convergencia) o ascensos (divergencia) de las mismas. Estos movimientos verticales debidos al estrés de viento se conocen como bombeo de Ekman (Ekman pumping).

El bombeo de Ekman tiene implicaciones físicas, químicas y biológicas sobre los ecosistemas oceánicos (Peláez y McGowan, 1986; Abbot y Zion, 1987).

El sensor SeaWindS (SWS) a bordo del QuikSCAT, lanzado en junio de 1999, es un radar en banda Ku, diseñado para obtener mediciones globales de la sección eficaz de retrodispersión, a partir de las cuales se estima el vector de viento, en cualquier situación climática, sobre la superficie del océano libre de hielo.

Las características del viento se obtienen mediante el uso de un modelo empírico que relaciona la intensidad y la dirección del viento, que corresponde a la reflectividad de la zona iluminada por el radar. En realidad, la relación directa se produce entre la sección eficaz de retrodispersión y el estrés de viento (Geennaert, 1988; Phillips, 1988; Blanc *et al.*, 1989), que depende de la velocidad del viento, de la estabilidad y características de la capa atmosférica que causa el estrés sobre la superficie del mar (Ross y Louis, 1990).

A partir de los datos del dispersómetro SWS se pueden efectuar cálculos de bombeo de Ekman a submesoescala.

Para desarrollar un modelo para el cálculo del bombeo de Ekman a partir de los datos de dispersómetro se usa una idealización de un océano bicapa. La capa superior abarca desde la superficie (0) hasta una profundidad $-h$ y se mueve con velocidad $V1$ (de componentes horizontales $V1x$, $V1y$). La capa inferior se extiende desde una profundidad $-h$ hasta $-\infty$, y se mueve con una velocidad $V2$ (de componentes horizontales $V2x$, $V2y$). Se suponen velocidades uniformes para cada capa. Cada capa posee una densidad propia constante, $\rho1$ y $\rho2$ respectivamente. Se considera $-h$ como la

profundidad de la capa de mezcla, cuya dinámica viene determinada por la influencia atmosférica.

En la capa inferior se asume comportamiento geostrófico puro y en la superior casi geostrófico. En la superior, la perturbación del flujo geostrófico será debida únicamente a una fricción (F) debida al efecto del estrés de viento (τ) sobre la capa.

Para la capa superior, las ecuaciones de partida son:

Eje x:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial F_x}{\partial z} \quad (1)$$

Eje y:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial F_y}{\partial z} \quad (2),$$

donde f es el término de coriolis y p es la presión.

Estas ecuaciones en derivadas parciales representan una dinámica geostrófica, que se ve afectada por una fricción capa con capa, considerando un espesor diferencial ∂z .

Posteriormente, se hacen derivadas cruzadas de (1) y (2), restando la capa inferior a la superior y simplificando se obtiene:

$$(\nabla V_1 - \nabla V_2) = \frac{1}{\rho h} \left(\frac{\partial \tau_y}{\partial x} - \frac{\partial \tau_x}{\partial y} \right) \quad (3)$$

Si en la ecuación (3) se pasa h (profundidad de Ekman) al primer miembro, la ecuación resultante se expresa en términos de velocidad, es decir bombeo de Ekman.

Para la evaluación de τ_x y τ_y se usa la relación empírica a partir del viento (v):

$$\tau = C_d \rho_a v \bar{v},$$

donde C_d es el coeficiente de arrastre y ρ_a es la densidad del aire.

Finalmente, aplicando el modelo a los datos de QuikSCAT, nivel L2B, con una resolución espacial de 25 Km., disponibles en el JPL (Jet Propulsion Laboratory) de la NASA se obtuvieron los datos de bombeo de Ekman. La cobertura diaria del sensor es del 90 % de la superficie terrestre y del 100 % cada dos días. Promediando los datos de cinco días se generaron las imágenes diarias sobre el Atlántico nororiental. En el promedio se utilizaron los datos del día y los de los cuatro días anteriores. Los mapas se generaron en una proyección equidistante cilíndrica con una resolución de aproximadamente 25 km.

3.2.4 Anomalías del nivel del mar (SLA)

El satélite GEOSAT de la marina estadounidense se lanzó el 12 de marzo de 1985 y falló en enero del año 1990. Un año y medio después de su lanzamiento, se emplazó a una órbita repetitiva de 17 días para seguir las variaciones del nivel del océano durante más de dos años. Sus datos están disponibles para la comunidad científica a través de la NOAA. Fue reemplazado por el satélite GFO (*Geosat Follow-On*) lanzado sobre la misma órbita en febrero de 1998. En agosto de 1992, se lanzó el satélite TOPEX/POSEIDON, fruto de la cooperación franco-estadounidense, con el objetivo de observar y comprender la circulación oceánica. Quince meses después, se lanzó el JASON con un altímetro que funciona a dos frecuencias, la primera a 13,575 GHz (banda Ku), prácticamente igual que el POSEIDON-1, y la segunda a 5,3 GHz (banda C), la misma que el ERS. Este altímetro dual permite corregir el efecto producido por los electrones ionosféricos. Durante los primeros seis meses, orbitó 60 segundos por delante del TOPEX/POSEIDON a efectos de calibración. Posteriormente, se dispusieron en órbitas paralelas. El JASON además lleva a bordo un radiómetro en el rango de las microondas (18,7, 28,8 y 34 GHz) que le permite calcular el contenido de agua de la atmósfera para eliminar su efecto sobre el pulso del altímetro.

El centro AVISO (*Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data*) analiza, valida, archiva y distribuye datos altimétricos del TOPEX/POSEIDON y JASON, así como de otras misiones altimétricas (ERS). El TOPEX/POSEIDON se compone de dos altímetros, el TOPEX y el POSEIDON, que parten de la misma antena, por lo que sólo puede hacerse funcionar uno a la vez. El POSEIDON es experimental, siendo el TOPEX el que funciona el 90 % del tiempo. A partir del ciclo 130 (marzo de 1996), se observó una degradación del rendimiento del TOPEX y su función fue sustituida por el POSEIDON a partir del ciclo 236 (diciembre de 1999). Sus medidas son coherentes con las realizadas por los altímetros del ERS.

La órbita del TOPEX/POSEIDON está inclinada 66° en relación al eje norte-sur de la tierra. Cubre una latitud entre 66° N y 66° S. La órbita se repite cada diez días y es el resultado del compromiso entre diversas necesidades. Cubre la mayor parte de los océanos que no están cubiertos por hielo y está lo suficientemente alto para minimizar los efectos de la fricción atmosférica, lo cual ayuda a determinar con precisión la órbita. La distancia media entre trazas es igual a la semidiagonal latitudinal. En el ecuador, esta distancia es de 300 Km. para el TOPEX/POSEIDON y 85 Km. para el ERS. En los dos casos, el altímetro efectúa una medida por segundo (cada 7 Km. a lo largo de la traza). El muestreo espacial del TOPEX/POSEIDON es peor que el del ERS. Si embargo, la duración del ciclo del TOPEX/POSEIDON es de diez días, por lo que el muestreo temporal es más de tres veces mejor (35 días). Combinando los datos de los dos satélites se optimizan los resultados.

La masa líquida de los océanos no presenta una superficie homogénea, al contrario “valles” y “colinas” se suceden y además se desplazan. Estas deformaciones se deben a muchos fenómenos físicos. En principio, la atracción terrestre determina la topografía estática, pero el océano se desvía de ésta con la rotación terrestre y los vientos que, sin tregua, arrastran la superficie del mar. Es lo que se llama topografía dinámica de la superficie, que es del orden de dos metros como máximo. Del conocimiento preciso de esta topografía puede extraerse la dirección e intensidad de las corrientes. Los altímetros del ERS y sobretudo del TOPEX/POSEIDON tienen la precisión

suficiente para medir la distancia altimétrica del orden de un centímetro.

El altímetro funciona enviando una serie de pulsos radar hacia la tierra y midiendo el tiempo que tardan en volver al sensor después de haber sido reflejados por la superficie del mar. La distancia obtenida es la distancia altimétrica y el nivel del mar es la diferencia entre la altitud del satélite y la distancia altimétrica.

El nivel del mar se mide en relación a un elipsoide de referencia. Las medidas del nivel del mar son particulares ya que dependen del elipsoide elegido. Las medidas altimétricas de las que se dispone utilizan un elipsoide de referencia específico del proyecto TOPEX/POSEIDON. La anomalía de la altura del nivel del mar se define en relación a una media, de aquí su nombre. Existen varias medias, que pueden ser anuales o estacionales. Las anomalías, por tanto, dependen de los criterios elegidos para determinar la media.

La topografía dinámica se mide en relación al geoide. El geoide, la altura que tendría el mar en ausencia de toda perturbación (mareas, vientos, corrientes, ...), se corresponde con una superficie equipotencial del campo gravitacional terrestre. La topografía dinámica provee información de las corrientes, que son una de las causas de las desviaciones entre la altura real del mar y el geoide. Las corrientes se dividen en una parte estacionaria, que depende de la rotación de la Tierra y de vientos permanentes, y una parte fuertemente variable, que depende de la marea y de las condiciones meteorológicas.

Con el fin de paliar el conocimiento insuficiente del campo gravitacional terrestre, se utilizan las anomalías de las alturas del nivel del mar antes que la topografía dinámica. Este campo afecta a las predicciones de la órbita de los satélites, así como al geoide terrestre. Ya que la gravedad no varía con el tiempo, afecta de la misma manera a cada pase de satélite por encima del mismo punto. Suprimiendo la altura media del agua se suprime este error, pero se hace también desaparecer de golpe la circulación oceánica media. Sin embargo, los mapas de anomalías son útiles para observar las corrientes que varían sobre cortos periodos de tiempo y distancia en función de los remolinos, del viento y de los cambios de temperatura en la capa superficial del agua.

Se identifican tres tipos de fuentes de error: los errores debidos al viaje de la onda, los errores debidos al ruido de otros fenómenos (que constituye, por otra parte, también información) y los errores debidos a las manipulaciones técnicas.

Para obtener una estimación precisa del nivel del agua es necesario conocer bien la velocidad de propagación del pulso. La propagación de la onda se ve afectada por numerosos factores que cambian la velocidad de propagación de la onda. Un signo positivo significa que el error conduce al altímetro a sobreestimar la distancia que le separa de la superficie del mar. La importancia de corregir estos errores reside en que la precisión que se desea es del orden de 2 cm.

La velocidad de propagación del pulso de radar disminuye por efecto de los gases y la cantidad de vapor de agua en la atmósfera terrestre. La influencia de la masa total de la atmósfera es bastante previsible (troposfera seca, 230 cm), pero la influencia del vapor de agua es más variable y más difícil de determinar (troposfera húmeda, de -6 a -30 cm). El número de electrones libres en la ionosfera influye sobre la velocidad de propagación del pulso (de 0,2 a 20 cm). La cantidad de electrones varía entre el día y la noche y entre el invierno y el verano y es función del ciclo solar.

Para calcular la topografía dinámica del mar hace falta tener en cuenta perturbaciones no deseadas, como la marea. Los errores pueden provenir de las olas, ya que el sensor recibe más ondas reflejadas en los valles que en las crestas. La altura media de la onda reflejada es más baja que la altura media del nivel del mar. Este error se puede corregir si se conoce la altura de ola significativa ($\xi_{1/3}$). Esta altura se puede determinar a partir de la forma del pulso retornado al altímetro. Un mar en calma devuelve un pulso estrecho mientras que un mar agitado devuelve un pulso estirado. Las ondas reflejadas en las crestas llegan antes que las reflejadas en los valles. Los pulsos emitidos por el altímetro tienen una extensión y un espesor determinados. La curvatura del pulso combinada con la curvatura de la Tierra hace que toda la onda no llegue a la superficie al mismo tiempo. La región en la que la onda no se retarda más de un dz (espesor del pulso) se llama “primera zona de Fresnel”. La medida de la altura de ola significativa ($\xi_{1/3}$) sólo se puede tomar si la altura de ésta es superior al espesor del pulso (dz).

La altura del mar también responde a la presión atmosférica. Un aumento de la presión atmosférica de un mbar baja el nivel del mar un cm. La respuesta del océano a los cambios de presión atmosférica es todavía objeto de estudio. Los valores de los efectos barométricos están separados de los valores corregidos en los ficheros de datos.

Después de haber obtenido una medida precisa de la distancia que separa el altímetro de la superficie del mar hace falta tener en cuenta las mareas. Las fuerzas gravitacionales externas no solo generan las mareas oceánicas, también deforman la tierra sólida. La respuesta de la Tierra es lo suficiente rápida para suponer un estado de equilibrio. La superficie de la marea de tierra es por tanto paralela a la superficie equipotencial. Existe entonces una constante de proporcionalidad entre la altura de la marea sólida y el potencial gravitacional. Esta constante es casi independiente de la frecuencia de la marea, salvo una frecuencia cercana a ella de la componente K1 que produce una resonancia del manto líquido.

El eje de rotación de la Tierra oscila con periodos aparentes de doce y catorce meses. Desde el punto de vista del observador terrestre, eso da lugar a una fuerza centrífuga suplementaria cuyo efecto no se distingue del de las mareas. Este fenómeno se conoce como marea polar y se considera que su periodo es lo suficientemente largo como para permitir un equilibrio, a la vez, con el océano y la tierra sólida.

A 1330 Km. de altura, donde orbita el satélite TOPEX/POSEIDON, la fricción de la atmósfera es todavía suficiente para hacerla bajar lentamente. Las variaciones en el campo gravitacional terrestre y los cambios en la presión de la radiación solar causan otras perturbaciones. Cada cierto tiempo son necesarias maniobras para mantener la órbita del satélite. La frecuencia de estas maniobras depende principalmente del flujo solar y varía entre 40 y 200 días. Estas maniobras duran de 20 a 60 minutos y se efectúan mientras el satélite sobrevuela los continentes. Durante estas maniobras no se toma medida científica alguna. La precisión media instantánea de los datos es inferior a 5 cm y la precisión media sobre un mes es inferior a 2 cm.

Los datos de anomalías del nivel del mar, han sido suministrados por el CLS-AVISO, y se generarán para periodos de siete días interpolando los valores disponibles para cada periodo. Los datos son facilitados en formato binario con cobertura global. La proyección original es mercator, por lo que se reprojectarán a equidistante cilíndrica con una resolución espacial de 0,25° para homogenizar las cuatro variables de

teledetección disponibles. Se procederá a la extracción de una subventana sobre el área de interés. El periodo de tiempo de los datos disponibles comprenderá los años 2004, 2005 y 2006.

3.3 Generación de los shapefiles

A partir de la base de datos de avistamientos de tortuga (*Caretta caretta*) y cetáceos, y de recorridos de cetáceos se generaron vectores en formato ESRI shapefile. Se realizó un programa de IDL® que lee la información de la base de datos (latitud, longitud, fecha, especie...) y genera los ficheros en formato vectorial *.shp utilizable en cualquier aplicación informática de teledetección y/o de sistemas de información geográfica. Para el caso de los recorridos se generó un shapefile del tipo poli línea con la línea de recorrido. Para el caso tortuga se generó un shapefile del tipo polígono con los avistamientos por día, éstos se representan con círculos. Para el caso de los avistamientos de cetáceos se generó un shapefile con los avistamientos por especie y día (también representados con polígonos de forma circular). El procedimiento dio lugar a:

- 51 ESRI shapefile de tortuga
- 191 ESRI shapefile de avistamientos de cetáceos
- 119 ESRI shapefile de recorridos

3.4 Generación de los mapas

Para cada shapefile creado se generaron mapas mediante un programa de IDL® que lee el vector de tierra, el vector con los avistamientos o recorridos y la imagen de temperatura y clorofila de en caso de estar disponibles. Esto dio lugar a la generación de 704 mapas. El objetivo de esta metodología es visualizar los avistamientos y recorridos sobre las variables geofísicas como primera aproximación para identificar relaciones.

3.5 Extracción de valores

3.5.1 Extracción en puntos fijos sobre el archipiélago

Se procedió a la extracción de los valores de las diferentes variables geofísicas en diversos puntos del archipiélago (figura 3, puntos rojos) al norte y al sur de las islas con el fin de identificar diferencias. La extracción se realizó para temperatura superficial del mar, concentración de clorofila-a y anomalías del nivel del mar. Por las características y resolución del sensor no hay datos de bombeo de Ekman en puntos cercanos a la costa

Para el caso de bombeo de Ekman, utilizando las imágenes diarias generadas de los años 2000 a 2006 se realizó un promedio de los datos por meses y también por años. Se procedió a la extracción de los valores promedios mensuales en diez puntos (5 al norte y

5 al sur de las islas Canarias, puntos negros de la figura 3). La finalidad de esta metodología es ilustrar mediante el bombeo de Ekman diferencias entre el norte y el sur del archipiélago.

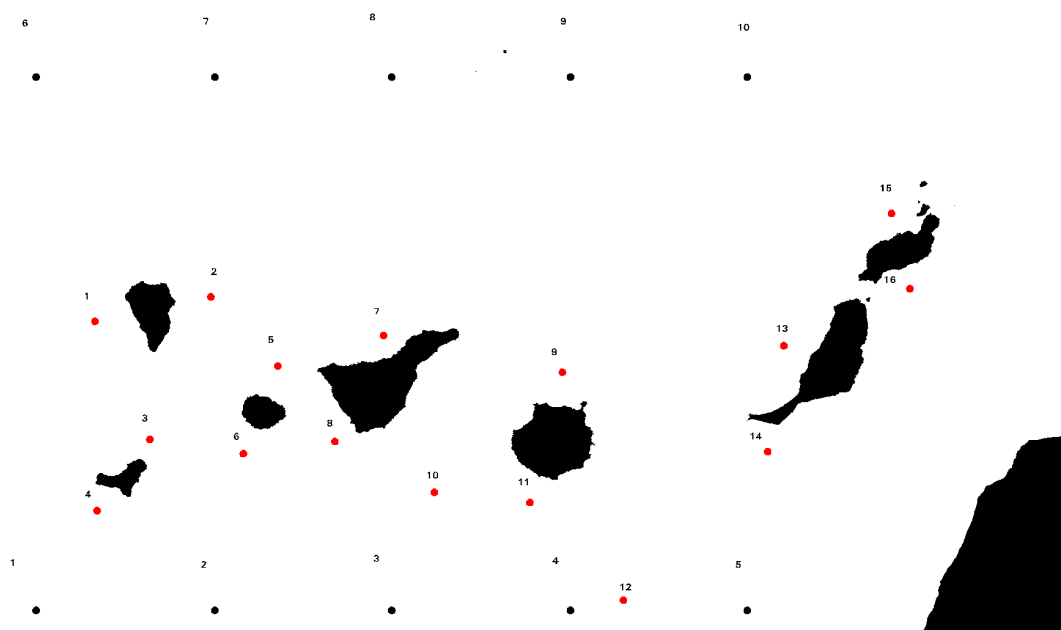


Figura 4. Localización de las estaciones de análisis de los parámetros geofísicos. Las estaciones en color negro de la zona exterior al archipiélago han sido escogidas para el estudio del bombeo de Ekman. Las estaciones en color rojo de la zona interior han sido escogidas para el estudio de la temperatura superficial del mar y de la concentración de clorofila.

3.5.2 Extracción de valores para avistamientos

Se realizaron programas de IDL[®] que, a partir de la información sobre fecha y posición (latitud y longitud) de los avistamientos contenida en la base de datos de la SECAC, seleccionaron las imágenes de temperatura superficial del mar y concentración de clorofila-a. Una vez seleccionadas las imágenes se extrajo el valor de la variable geofísica en la posición geográfica correspondiente.

4 Resultados

4.1 Mapas

La representación gráfica de los avistamientos de la especie *Caretta caretta* respecto a la temperatura superficial del mar, nos muestra la tendencia de los individuos a estar presentes en la vertiente sur de la isla de La Gomera, durante la realización del muestreo. Esta zona comprende el LIC Franja Marina Santiago-Valle Gran Rey, la zona de interés del proyecto. Respecto a la variable de clorofila no se puede determinar ninguna tendencia clara.

En cuanto a la representación de los avistamientos de las diferentes especies de cetáceos respecto a las variables geofísicas, aunque no hay una tendencia tan clara como en el caso de *Caretta caretta*, sí se observa una cercanía relativa a las estructuras mesoescalares como las estelas. Y los recorridos observados se realizan en gran parte del LIC.

4.2 Extracción en puntos fijos

Con el objeto de comprobar si había diferencias entre las distribuciones de las variables extraídas en los puntos al norte y al sur del área de estudio, se procedió a la extracción para el mismo día de todas las variables extraídas para cada dato. Para comprobar la igualdad de las varianzas entre las variables en los puntos al norte y al sur de las islas, se utilizó la prueba de homogeneidad de las varianzas de Levene, que consiste en llevar a cabo un análisis de la varianza de un factor utilizando como variable dependiente la diferencia en valor absoluto entre cada puntuación individual y la media de su grupo. Si el nivel de significación es menor de 0,05 se rechaza la hipótesis nula de que las varianzas en las dos poblaciones son iguales. Las distribuciones de las variables utilizadas se alejaron de la normal, por lo que para la comparación de las medias se utilizó la prueba U de Mann-Whitney. Ésta es una excelente alternativa sobre la diferencia de medias cuando no se cumplen los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Si el nivel de significación es menor de 0,05 se rechaza la hipótesis nula de que las medias en las dos poblaciones son iguales.

También se realizaron histogramas de frecuencias de los valores de SST y de concentración de clorofila-a, en puntos al norte y al sur de las islas de Gran Canaria y La Gomera.

Temperatura superficial del mar

Punto 5:
Media: 22,5922
Desviación estándar: 1,93535

Punto 6:

Media: 23,1258

Desviación estándar: 1,90776

Comparación entre las distribuciones de valores temperatura superficial del mar en los puntos 5 y 6:

Estadístico de Levene=0,106, $P=0,745$ varianza homogénea

U de Mann-Whitney= 410375,5, $P=0,000$ medias diferentes

Punto 9

Media: 22,2678

Desviación estándar: 1,99204

Punto 11:

Media: 22,5893

Desviación estándar: 1,90267

Comparación entre las distribuciones de valores temperatura superficial del mar en los puntos 9 y 11:

Estadístico de Levene=1,663 , $P=0,201$ varianza homogénea

U de Mann-Whitney= 438190,000, $P=0,000$ medias diferentes

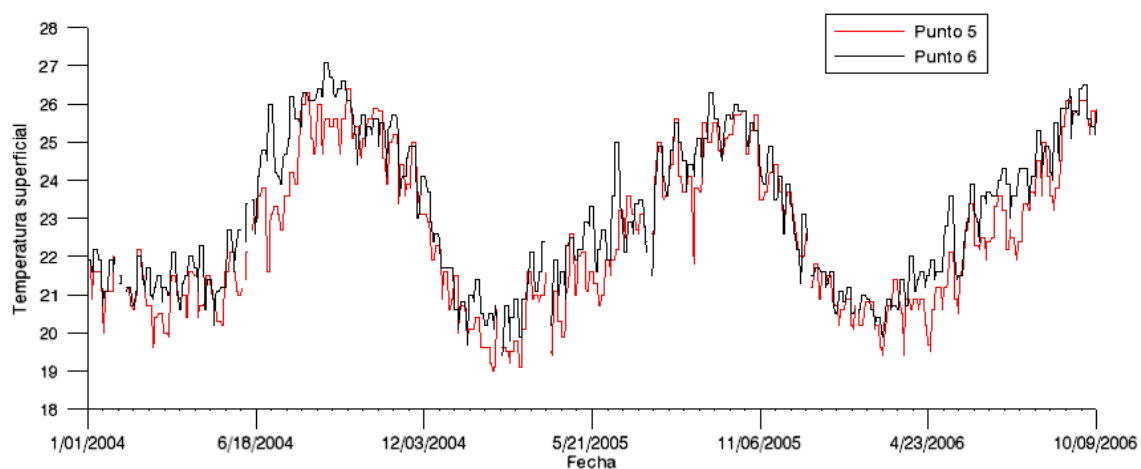


Figura 5. Valores diarios de temperatura superficial del mar de enero de 2004 a septiembre de 2006 al norte (pto. 5) y al sur de La Gomera (pto. 6).

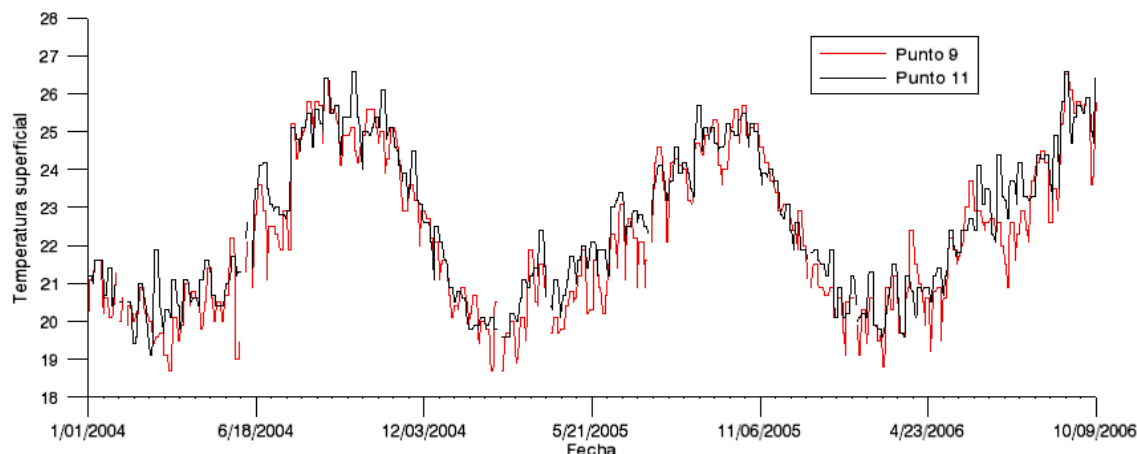


Figura 6. Valores diarios de temperatura superficial del mar de enero de 2004 a septiembre de 2006 al norte (pto. 9) y al sur de Gran Canaria (pto. 11).

Las gráficas muestran que habitualmente los valores de temperatura son mayores al sur de las islas que al norte de las mismas debido al efecto masa de isla. Las medias de temperatura muestran este comportamiento. Las comparaciones estadísticas de las distribuciones muestran que las medias de temperatura son significativamente diferentes al norte y al sur de las islas. Esto ocurre tanto para la isla de La Gomera como para la de Gran Canaria. Las varianzas son homogéneas en ambos casos.

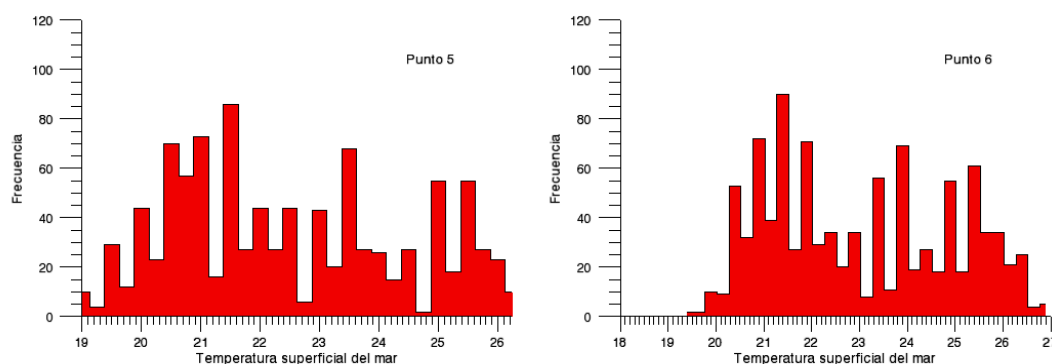


Figura 7. Histogramas de frecuencia de los valores de temperatura superficial del mar para los puntos 5 (norte Gomera) y 6 (Sur Gomera).

Respecto a la temperatura superficial del mar en la isla de La Gomera, se observa que el rango de valores de *SST*, sigue una distribución parecida entre norte y sur. Aunque sí se aprecia una mayor frecuencia de valores altos en el sur de la isla, y una frecuencia de temperaturas más frías al norte de la misma.

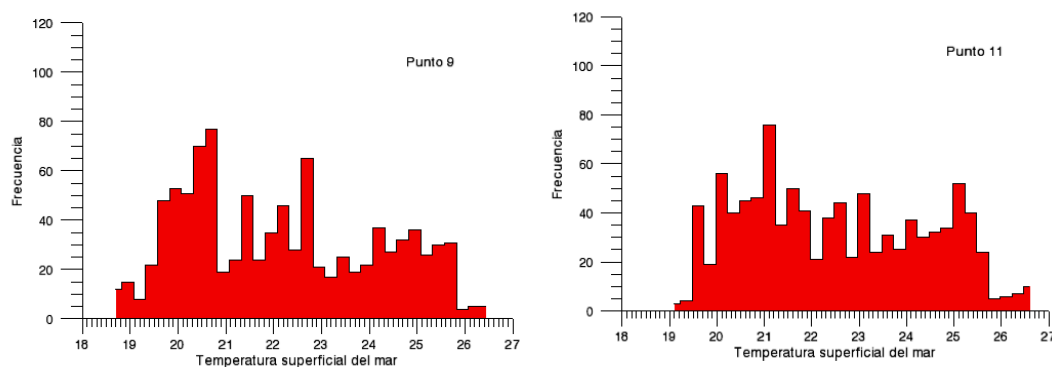


Figura 8. Histogramas de frecuencia de los valores de temperatura superficial del mar para los puntos 9 (norte Gran Canaria) y 11 (Sur Gran Canaria).

Respecto a la temperatura superficial del mar en la isla de Gran Canaria, se observa que el rango de valores de *SST*, sigue una distribución parecida entre norte y sur. Pero se aprecia una mayor frecuencia de valores altos en el sur de la isla.

Concentración de Clorofila-a

Punto 5:

Media: 0,154301

Desviación estándar: 0,0834173

Punto 6:

Media: 0,150912

Desviación estándar: 0,0775494

Comparación entre las distribuciones de valores de concentración de clorofila-a en los puntos 5 y 6:

Estadístico de Levene=0,994, $P=0,319$ varianza homogénea

U de Mann-Whitney=125732,0, $P=0,537$ medias iguales

Punto 9:

Media: 0,152853

Desviación estándar: 0,0984788

Punto 11:

Media: 0,186909

Desviación estándar: 0,123852

Comparación entre las distribuciones de valores de concentración de clorofila-a en los puntos 9 y 11:

Estadístico de Levene=2,750, $P=0,098$ varianza homogénea

U de Mann-Whitney= 65549,500, $P=0,000$ medias diferentes

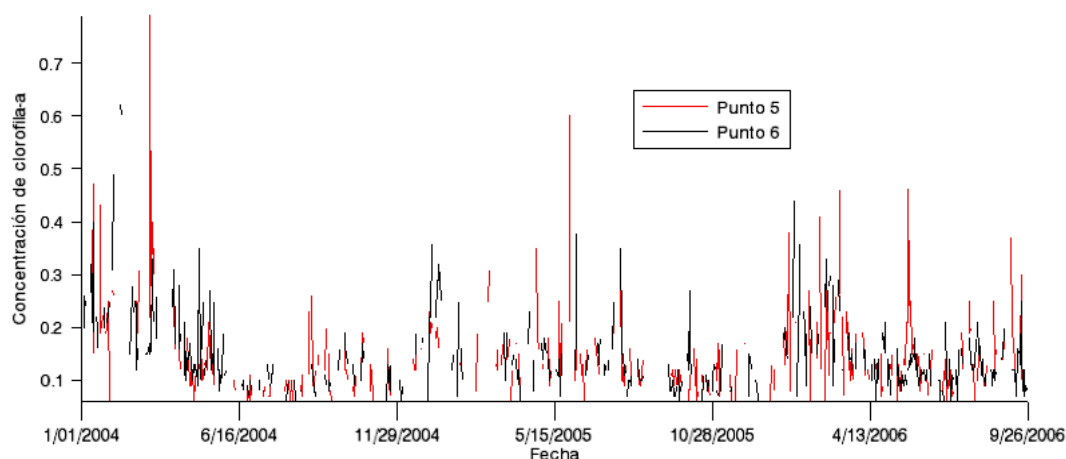


Figura 9. Valores diarios de concentración de clorofila-a de enero de 2004 a septiembre de 2006 al norte (pto. 5) y al sur de La Gomera (pto. 6).

Entorno al 50 % de los días no se obtiene valor de concentración de clorofila debido a que sólo se dispone de un pase de satélite al día. El elevado número de valores perdidos dificulta la interpretación visual de las gráficas.

Las comparaciones estadísticas de las distribuciones de valores de concentración de clorofila arrojan resultados diferentes para los casos de La Gomera y Gran Canaria. En el caso de la primera las medias son iguales y para Gran Canaria diferentes. Las varianzas son homogéneas en ambos casos.

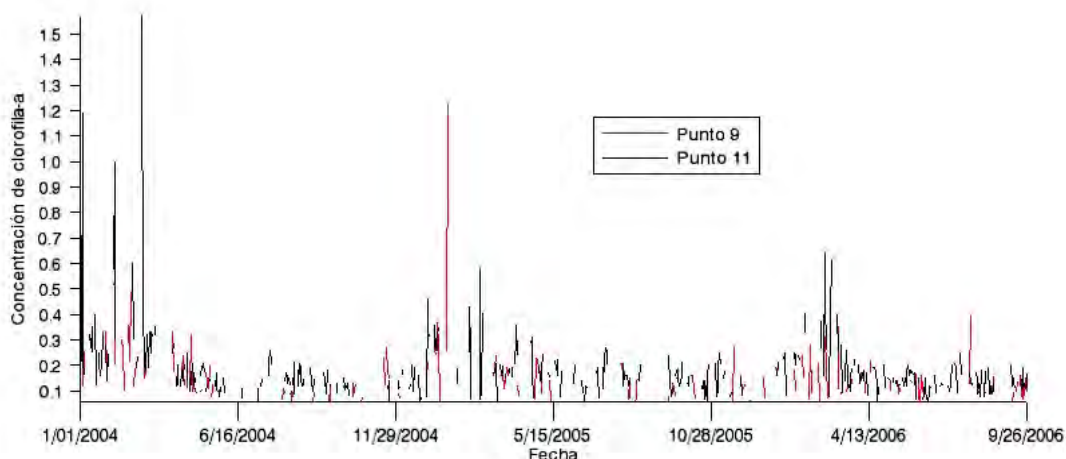


Figura 10. Valores diarios de concentración de clorofila-a de enero de 2004 a septiembre de 2006 al norte (pto. 9) y al sur de gran canaria (pto. 11).

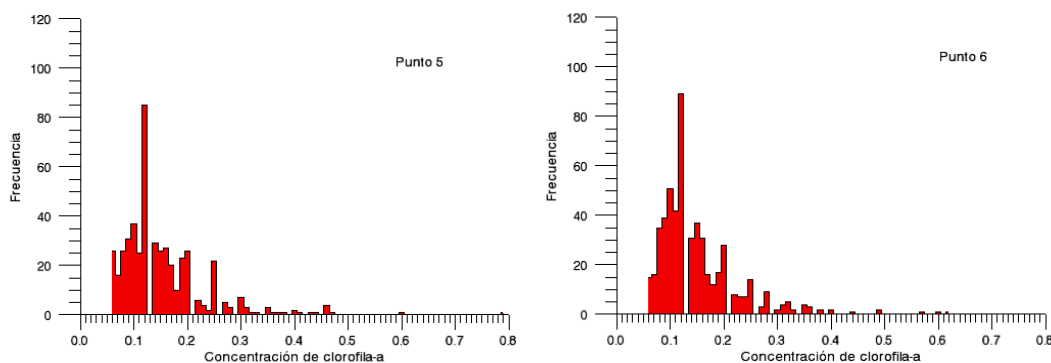


Figura 11. Histogramas de frecuencia de los valores de concentración de clorofila-a para los puntos 5 (norte Gomera) y 6 (Sur Gomera).

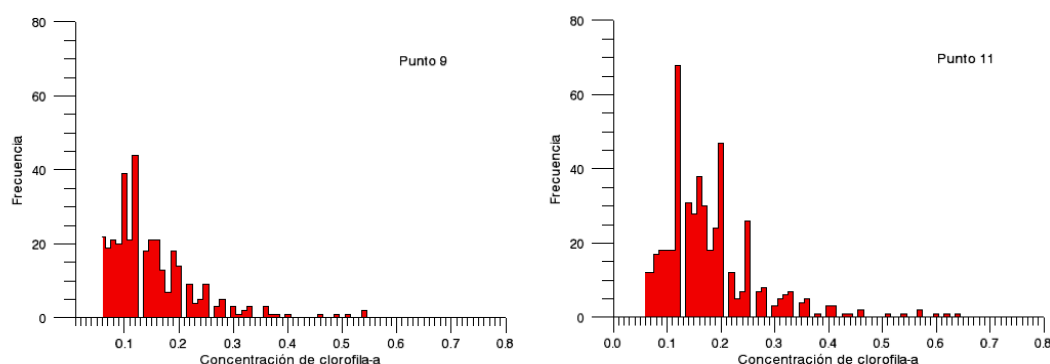


Figura 12. Histogramas de frecuencia de los valores de concentración de clorofila-a para los puntos 9 (norte Gran Canaria) y 11 (Sur Gran Canaria).

Respecto a la isla de La Gomera, se observa cierta similitud en la distribución de valores entre los 2 puntos, aunque se aprecia mayor frecuencia de éstos valores en el punto situado al sur de la isla (punto 6).

Respecto a la isla de Gran Canaria, se observa que aunque el rango de valores de clorofila-a no varía significativamente entre los 2 puntos, sí se aprecia una mayor frecuencia de valores en concentración al sur de la isla.

La generación de mapas diarios con promedio de cinco días permite una cobertura completa para toda el área de estudio. Se observa el efecto del bombeo de Ekman sobre cada punto, visualizándose en océano abierto zonas de hundimiento (convergencia), en color rojo en los anexos y zonas de ascenso (divergencia), representadas en colores azules. También se observa en los mapas, la perturbación que las islas generan sobre el flujo de viento y el consecuente efecto sobre el bombeo. En los mapas diarios también se visualizan las áreas de afloramiento con valores de bombeo positivo.

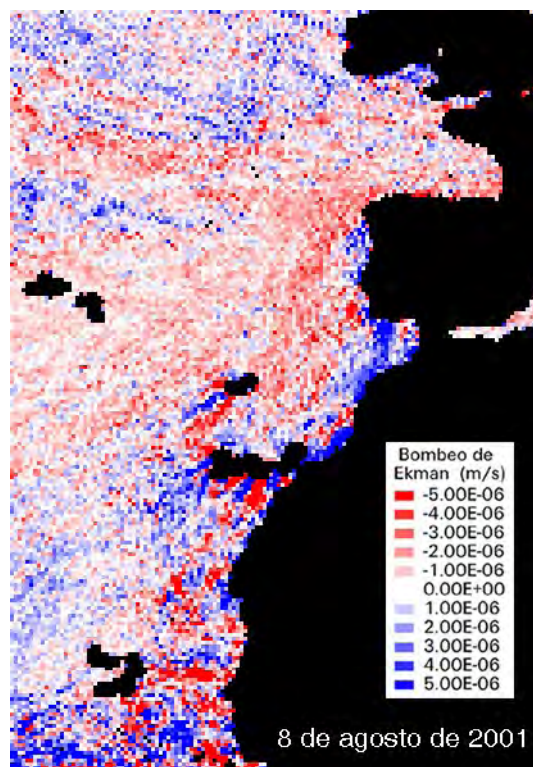


Figura 13. Mapa de Bombeo de Ekman del día 8 de agosto de 2001.

En este mapa diario se observa claramente el efecto de ascenso y descenso de aguas que provocan las islas. A sotavento de las mismas, se alternan las zonas de hundimiento de agua superficial (rojo), con las de afloramiento de aguas más frías y más ricas en nutrientes (azul).

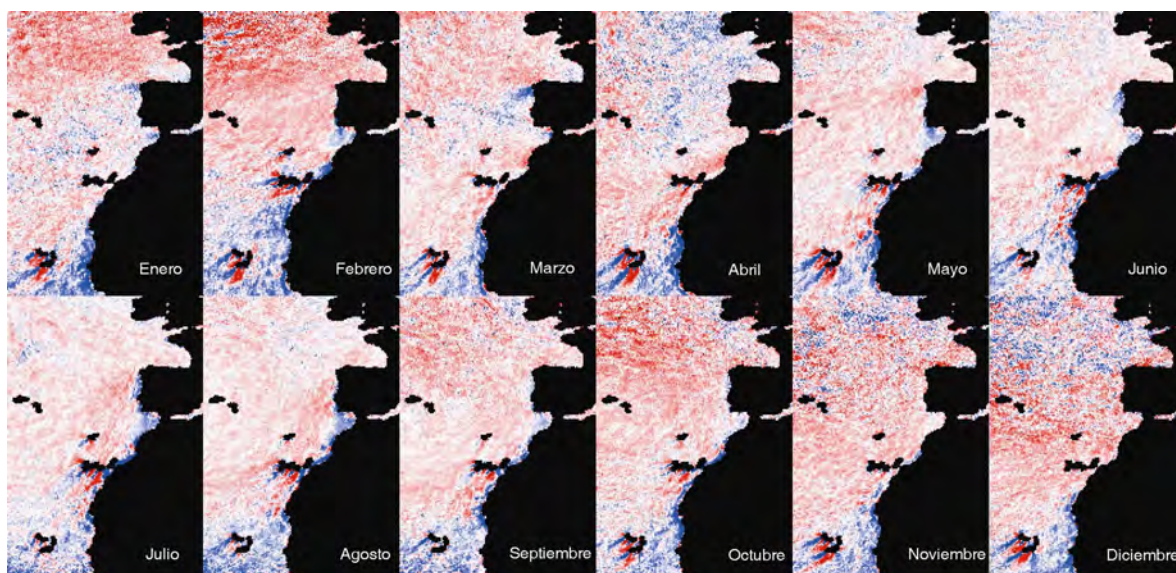


Figura 14. Mapas mensuales de Bombeo de Ekman del año 2001.

La intensidad de las estructuras ascendentes / descendentes al sur del archipiélago sigue el patrón temporal siguiente: débiles al principio del año. Posteriormente van intensificándose y en verano son intensas. Y al llegar el final del año se van debilitando.

En los promedios anuales de los 3 años de estudio, se aprecia el bombeo positivo en el afloramiento Canario-Sahariano. Hay que destacar que la metodología aquí descrita calcula la componente vertical en el movimiento debida a la tensión del viento y que no tiene en cuenta el efecto combinado con la presencia de la costa en la generación de los afloramientos.

En la parte norte de la ventana de trabajo, el comportamiento promedio anual en océano abierto es fundamentalmente negativo exceptuando ciertas áreas al noreste de dicha ventana.

Los efectos de isla sobre el flujo de viento predominante del noreste y el consecuente bombeo de Ekman, con zonas positivas y negativas, se presenta en los promedios anuales al sur de Canarias.

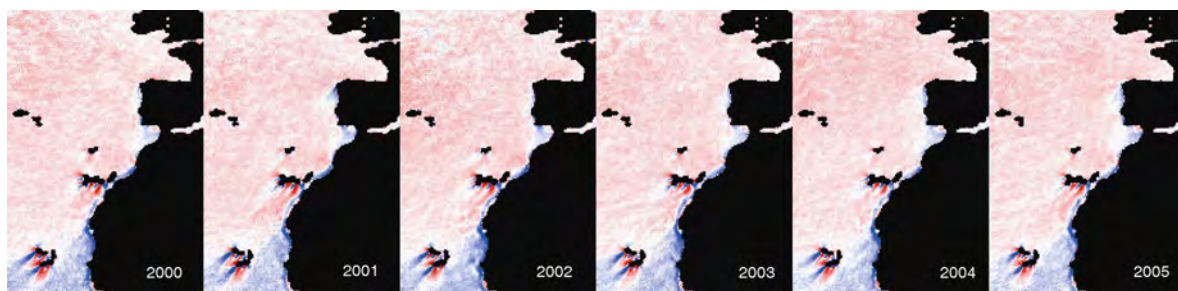


Figura 15. Mapas anuales de Bombeo de Ekman (2000-2005).

Anomalías del nivel del mar

Punto 5:

Media: 0,0013

Desviación estándar: 3,830

Punto 6:

Media: 0,6844

Desviación estándar: 3,936

Comparación entre las distribuciones de valores de Anomalías del nivel del mar en los puntos 5 y 6:

Estadístico de Levene=0,016, $P=0,901$ varianza homogénea

U de Mann-Whytney=7267,0 , $P=0,207$ medias iguales

Punto 9

Media: -0,2676

Desviación estándar: 4.048

Punto 11:

Media: 0,8784

Desviación estándar: 3,121

Comparación entre las distribuciones de valores Anomalías del nivel del mar en los puntos 9 y 11:

Estadístico de Levene=16,787 , $P=0,000$ varianza no homogénea
 U de Mann-Whytney= 7556,0, $P=0,385$ medias iguales

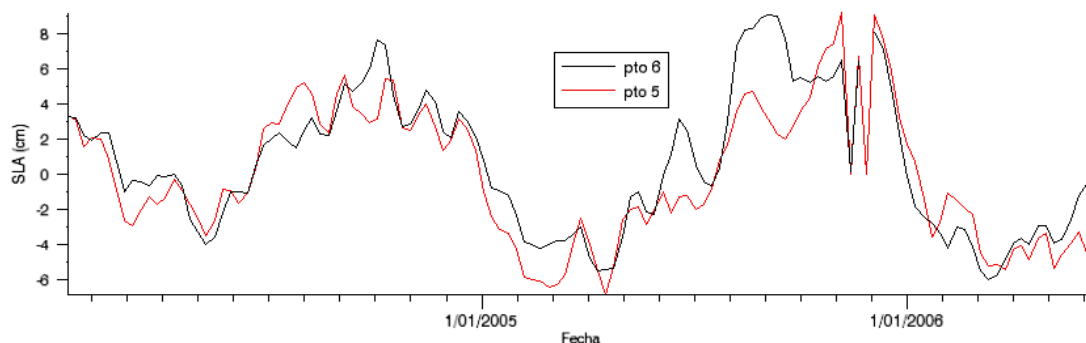


Figura 16. Valores semanales de anomalías del nivel del mar de enero de 2004 a junio de 2006 al norte (pto. 5) y al sur de La Gomera (pto. 6).

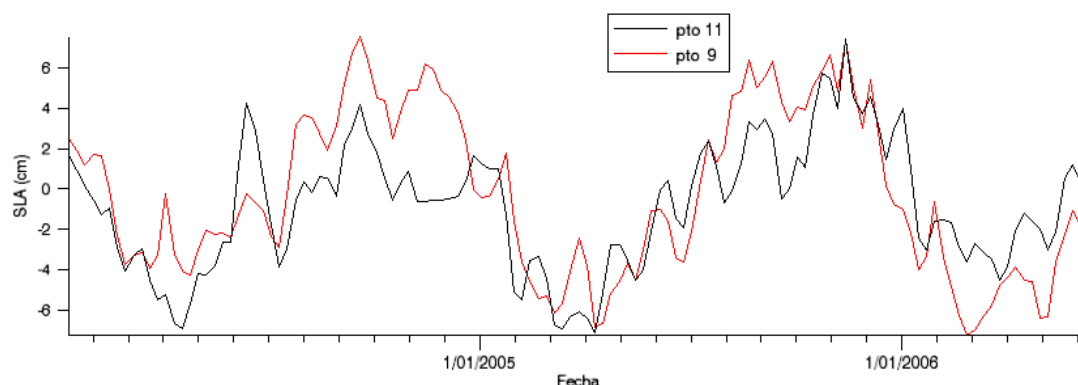


Figura 17. Valores semanales de anomalías del nivel del mar de enero de 2004 a junio de 2006 al norte (pto. 9) y al sur de Gran Canaria (pto. 11).

En cuanto a las anomalías del nivel del mar no se aprecian diferencias entre el norte y el sur de las islas. Las figuras 16 y 17 que muestran la evolución temporal de las anomalías del nivel del mar en puntos al norte y sur de La Gomera y Gran Canaria, no permiten identificar patrones diferentes entre ellos. Para todos los puntos se aprecia el patrón típico estacional de valores mayores coincidiendo con los valores altos de temperatura del agua. La comparación de las distribuciones mediante la U de Mann-Whytney nos permite afirmar que las medias al norte y al sur de las islas son iguales corroborando lo apreciado en las figuras y las medias de los valores.

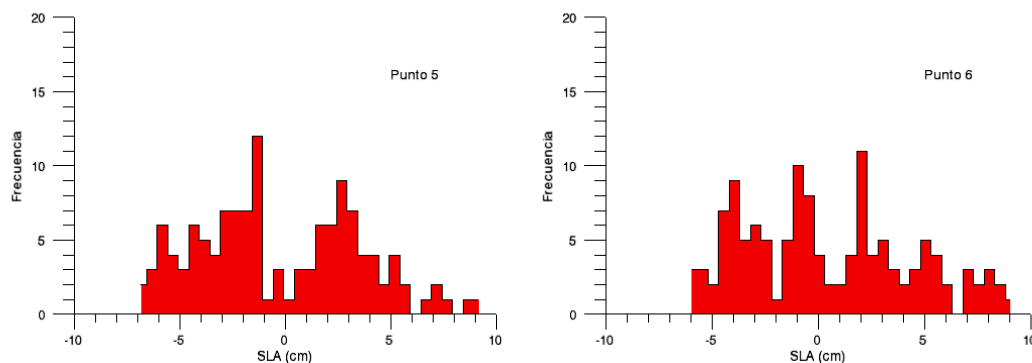


Figura 18. Histogramas de frecuencia de los valores de anomalías del nivel del mar para los puntos 5 (norte Gomera) y 6 (sur Gomera).

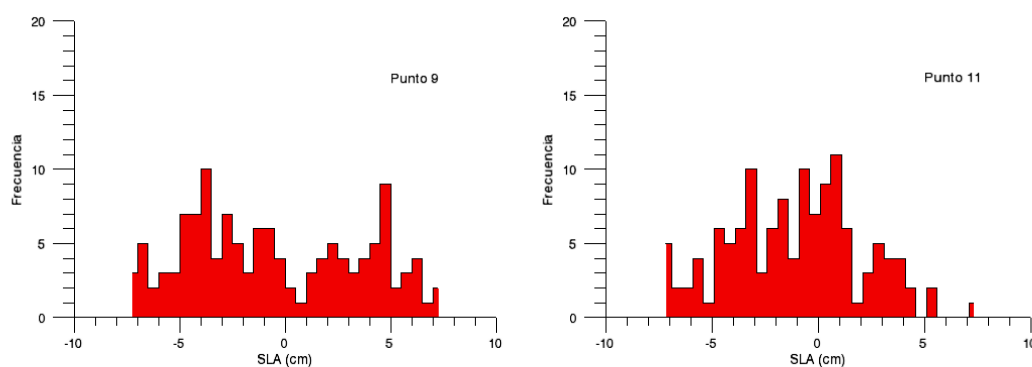


Figura 19. Histogramas de frecuencia de los valores de anomalías del nivel del mar para los puntos 9 (norte Gran Canaria) y 11 (sur Gran Canaria).

En los histogramas de los valores de anomalías del nivel del mar al norte y al sur de las islas no se encuentran diferencias claras.

4.3 Extracción en puntos de avistamientos

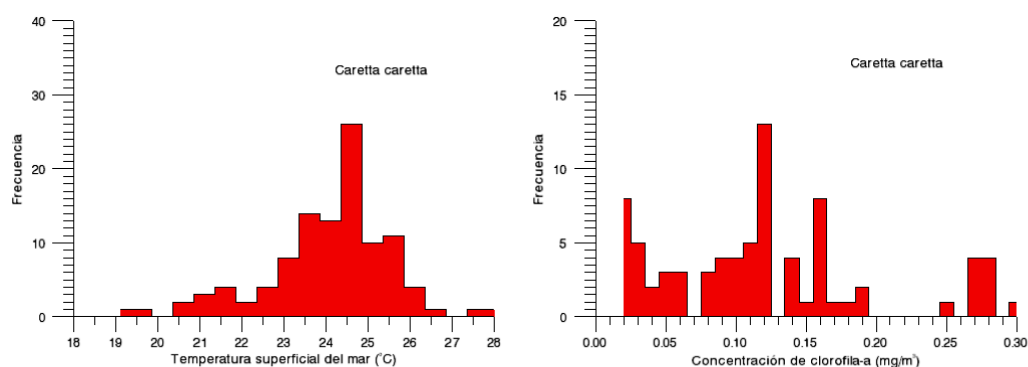


Figura 20. Histograma de frecuencia de valores de temperatura superficial del mar de los recorridos de *Caretta caretta*.

Temperatura superficial del mar (105):

Media: 24,2381

Desviación estándar: 1,45816

Mínimo: 19,10
Máximo: 27,60

Concentración de clorofila-a (77):

Media: 0,1219
Desviación estándar: 0,0774
Mínimo: 0,02
Máximo: 0,30

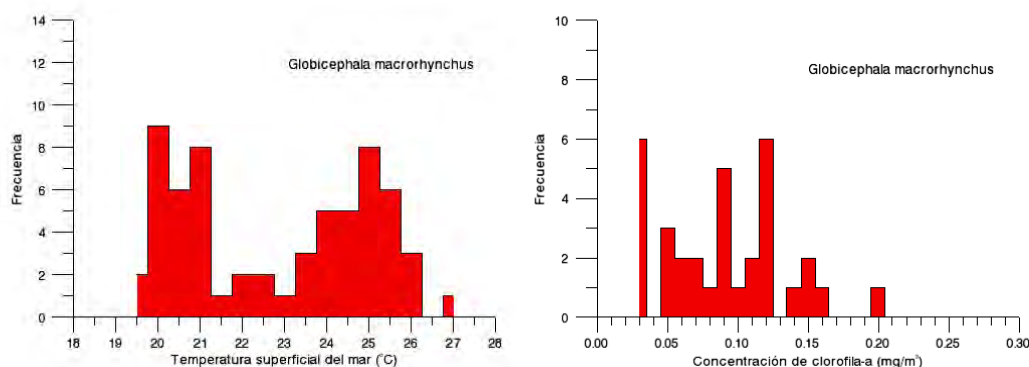


Figura 21. Histograma de frecuencia de valores de temperatura superficial del mar de los avistamientos *Globicephala macrorhynchus*.

Temperatura superficial del mar (62):

Media: 22,9855
Desviación estándar: 2,23943
Mínimo: 19,50
Máximo: 27,10

Concentración de clorofila-a (35):

Media: 0,1063
Desviación estándar: 0,07971
Mínimo: 0,03
Máximo: 0,38

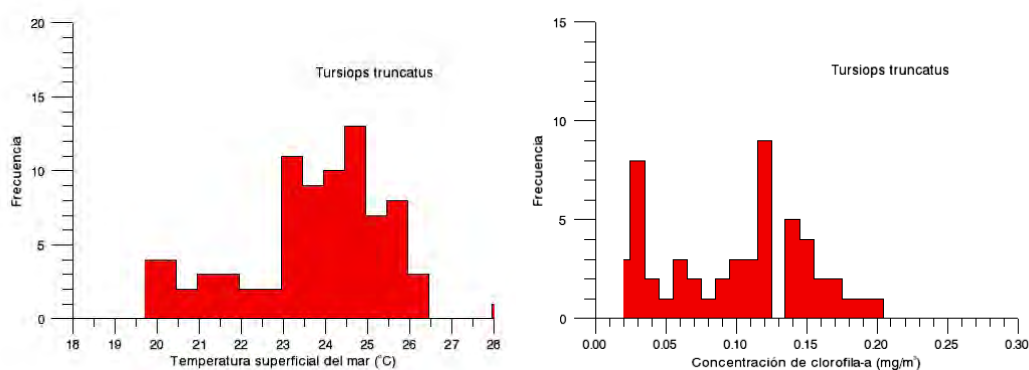


Figura 22. Histograma de frecuencia de valores de temperatura superficial del mar de los avistamientos

Tursiops truncatus

Temperatura superficial del mar (81):

Media: 23,8074
Desviación estándar: 1,78569
Mínimo: 19,70
Máximo: 26,50

Concentración de clorofila-a (53):

Media: 0,1002
Desviación estándar: 0,05250
Mínimo: 0,02
Máximo: 0,21

Para el caso de temperatura superficial del mar si se observan diferencias según la especie. El histograma de los valores de temperatura en los puntos de avistamiento de *Caretta caretta* está centrado en valores cálidos con un pico entorno a 24,5 °C. Para el caso de *Globicephala macrorhynchus* el histograma muestra una estructura bimodal con un centro entorno a 20,5 °C y otro entorno a 25 °C. Para el caso de *Tursiops truncatus* aunque también se producen avistamientos sobre valores entre 20 y 22 °C la mayoría se producen sobre temperaturas mayores.

Sin embargo los histogramas de concentración de clorofila-a para las diferentes especies se distribuyen sobre valores similares siendo todos ellos bajos (típicos de la zona de muestreo). Las medias y desviaciones estándar también sugieren un comportamiento similar de las tres especies respecto a esta variable.

Comparaciones temperatura superficial del mar *Globicephala macrorhynchus* (Gma) *Caretta caretta* (Cca) y *Tursiops truncatus* (Ttr).

Estadístico de Levene=19,879, P=0,000 varianza no homogénea

Gma vs. Cca (62, 105)

U de Mann-Whitney= 2335,0, P=0,002 medias diferentes

Ttr vs. Cca (81, 105)

U de Mann-Whitney= 3744,0, P=0,162 medias iguales

Gma vs. Ttr (62, 81)

U de Mann-Whitney= 2049,5, P=0,06 medias iguales

Entre los valores de temperatura superficial del mar en los puntos de avistamiento de las diferentes especies sí se encuentran diferencias. La media para *Caretta caretta* es mayor que la media para *Tursiops truncatus* y ésta, mayor que para *Globicephala macrorhynchus*. Estadísticamente solo se puede rechazar con rotundidad la hipótesis

nula de igualdad de las medias para el caso de *Globicephala macrorhynchus* (la mas fría de las tres) versus *Caretta caretta* (la más cálida). En el caso de *Caretta caretta* frente a *Tursiops truncatus* las pruebas estadísticas indican que sus medias son iguales. En cambio para el caso de *Tursiops truncatus* frente a *Globicephala macrorhynchus* el no poder rechazar la hipótesis nula de igualdad de las medias no es determinante (nivel de significación 0,06). Los resultados de las medias y de la U de Mann-Whytney sugieren que de las tres especies, *Globicephala macrorhynchus* muestra preferencia por valores de temperatura más fríos mientras que *Caretta caretta* y *Tursiops truncatus* por valores más cálidos mostrando estas dos últimas unas preferencias similares.

Comparaciones concentración de clorofila-a *Globicephala macrorhynchus* (Gma) *Caretta caretta* (Cca) y *Tursiops truncatus* (Ttr).

Estadístico de Levene=1.352, P=0,262 varianza homogénea

Gma vs. Cca (35, 77)

U de Mann-Whytney= 1138,5, P=0,188 medias iguales

Ttr vs. Cca (53, 77)

U de Mann-Whytney= 1831,0, P=0,320 medias iguales

Gma vs. Ttr (35, 53)

U de Mann-Whytney= 867,5, P=0,608 medias iguales

En cuanto a los valores concentración de clorofila no hay diferencias entre las posiciones de los avistamientos de las diferentes especies.

5 Discusión

El caso específico de la isla de La Gomera, es realmente particular en cuanto a la geomorfología se refiere. La poca anchura de su plataforma insular en la vertiente sur de la misma y el llamado efecto de masa de isla, provocado por la perturbación de la corriente de Canarias por la propia isla, favorecen la presencia de especies oceánicas. Incluso existen comunidades residentes, semiresidentes y transeúntes de especies como calderones tropicales y delfines mulares.

La creación de los mapas de las variables geofísicas (SST y Chla) incluyendo la representación de los recorridos y avistamientos ha sido revelador. Sobre todo en el caso de *Caretta caretta*, siendo los avistamientos obtenidos de los individuos de esta especie bastante confinados a la zona de calma a sotavento de la isla de La Gomera. Seguramente se debe a la disponibilidad de alimento y las óptimas condiciones oceanográficas.

En el caso de los cetáceos, siendo su distribución mucho más aleatoria, sí se aprecia en los mapas de temperatura superficial del mar que su posición se encuentra en áreas de actividad mesoescalar, o cerca de ellas. No ocurre así en relación con la variable de clorofila.

La presencia de remolinos ciclónicos afecta a la producción primaria y a la distribución de biomasa en esta área. La producción está controlada por la entrada de agua profunda rica en nutrientes y por la capacidad del fitoplancton para asimilar los nutrientes.

Estas turbulencias o remolinos ciclónicos en las aguas provocan el bombeo de nutrientes y el ascenso de la clorofila profunda hacia la superficie con la consiguiente mayor presencia de fuentes de producción primaria para la cadena trófica. Además las aguas ricas en nutrientes, derivadas de afloramientos cercanos a las islas, se incorporan a los remolinos y son transportadas hacia abajo.

Ciertos autores (Dugdale, 1976; MacIsaac *et al.*, 1974) proponen un modelo según el cual los remolinos ciclónicos aumentan la productividad mediante el ascenso de agua profunda y las células así activadas producen aumentos de biomasa que son perceptibles en la estela que deja el remolino en su desplazamiento.

Las condiciones meteorológicas y oceanográficas observadas en las escenas obtenidas de satélites operacionales indican la predominancia de vientos alisios que soplaron de NE entre los meses de marzo y noviembre del periodo 2005 y 2006 frente al periodo julio - agosto de 2004, que registraron el verano más cálido de toda la serie desde el año 1912, con la desaparición del viento alisio. Las interacciones entre las estructuras oceanográficas como filamentos, y remolinos anticiclónicos con el remolino ciclónico, podría estimular los efectos causados por éste.

La SST del océano muestra variaciones entre las distintas islas que conforman el Archipiélago. Así, los meses más fríos fueron Marzo y Abril de 2004, 2005 y 2006. Las islas con SST más elevada eran las occidentales (Palma y Hierro) mientras que las de SST más fría fueron Lanzarote y Fuerteventura.

Las gráficas muestran que los valores de temperatura son más altos al sur de las islas que al norte de las mismas debido al efecto masa de isla.. Las comparaciones estadísticas de las distribuciones muestran que las medias de temperatura son significativamente diferentes al norte y al sur de las islas. Esto ocurre tanto para la isla de La Gomera como para la de Gran Canaria. Esto se debe al calentamiento de las aguas superficiales a sotavento de las islas. Aguas tranquilas a su vez, por la ausencia de viento ya que su efecto cesa por el obstáculo orográfico, y también por la disminución de la intensidad de la corriente predominante (NE).

En cuanto a los valores de clorofila-a, se observa al sur de la isla de Gran Canaria, una concentración mayor que en el norte de la misma. Esto puede ser debido a la advección de pigmentos clorofílicos desde las aguas productivas de la costa africana, a través de un filamento.

Si nos referimos a la isla de La Gomera, no se aprecian grandes diferencias en cuanto al rango de valores obtenidos en la estación del norte y la del sur, aunque un ligero incremento en la frecuencia de los datos, en el punto del sur, hace sospechar de la influencia de algún evento mesoescalar, tipo remolino ciclónico, al suroeste de la isla.

En océano abierto, los valores de bombeo son más intensos en otoño e invierno y más suaves en primavera y verano sobre todo en la parte norte de la ventana de trabajo. La intensidad de las estructuras que se visualizan en invierno al norte de la ventana, con predominancia de estructuras positivas al final del invierno-principio de primavera, da idea de la agitación producida en la columna de agua que se traduce en una entrada de nutrientes en aguas superficiales. Cuando las borrascas se calman durante la primavera, la disponibilidad de nutrientes unido a la insolación propia de la época del año, producen los blooms primaverales de estas aguas.

La extracción de cinco puntos al norte y cinco puntos al sur de las islas Canarias para cada mapa de promedio mensual permitió describir comportamientos claramente diferentes entre ellos. En los puntos al norte del archipiélago, donde el flujo de viento no se ve perturbado por las islas, el valor absoluto del bombeo de Ekman es de un orden de magnitud menor que para los puntos situados al sur. Esta perturbación del flujo se debe a las elevadas altitudes de las islas. Los puntos al norte no muestran patrones de comportamiento estacional claro en sus valores. En los puntos situados al sur de las islas sí se aprecia un marcado comportamiento estacional con picos anuales, en valor absoluto, entorno a los meses de junio-julio coincidiendo con la intensificación de los vientos alisios. Los puntos situados al sur de las islas, en función de su localización geográfica muestran valores negativos o positivos. Sus máximos en valor absoluto coinciden. Las estructuras negativas y positivas más intensas se producen simultáneamente.

Los valores máximos de velocidad vertical para los meses de más intensidad dan valores promedio de 0,8 a 1,2 m•d⁻¹ según el año. Barton *et al.* (1998) con promedios mensuales sobre datos 1° x 1° obtuvieron valores máximos de 0,4 m•d⁻¹. Tal y como discuten estos autores tamaños de malla grandes producen subestimaciones en el estrés de viento (Bakun y Nelson, 1991). En este trabajo el tamaño de la malla es de 25 x 25 Km., pudiendo explicar esto las diferencias en los valores obtenidos.

La buena cobertura espacial del sensor SeaWindS permite generar mapas de bombeo

de Ekman con cobertura completa para el área de estudio. Los mapas diarios permiten evaluar el efecto en la componente vertical que produce el estrés de viento. La importancia del efecto masa de isla en esta variable es fundamental, tal y como se aprecia en los mapas diarios, mensuales y anuales, y en la extracción de los valores en puntos geográficos concretos. La intensidad de las estructuras a sotavento del archipiélago Canario muestra un marcado carácter estacional.

Durante el verano más caluroso reportado por el INM en Canarias desde 1910, nuestras imágenes de satélite y los datos *in situ* detectaron entre julio y agosto de 2004 un bloom inédito de la cyanobacteria fijadora de N_2 atmosférico *Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg, jamás descrito en estas áreas y que causó confusión entre el sector pesquero y los acuicultores canarios sobre el origen y efectos de las manchas que aparecieron al S de varias Islas en plena temporada de pesca. También coincidieron con varamientos de delfines en Gran Canaria, coincidentes con el período del evento y que presentaban un cuadro de dermatitis severa en todo el cuerpo, indicando el posible contacto físico con este evento anómalo tóxico. Nuestras escenas en color *quasi* real del OrbView-2 SeaWIFS revelaron tormentas recurrentes de polvo que cubrían el Atlántico NE y Mediterráneo W con (C) elevadas de hidróxidos de Mn y Fe (nutrientes detonantes de *T. erythraeum*) provenientes del Sáhara. Las escenas AVHRR/NOAA mostraron el registro más elevado de SST (29°C) en toda la serie disponible (1987-2006). Además, se detectó la convergencia de aguas oceánicas a 23°C que cubrían el afloramiento sahariano. Las escenas de clor *a* del OrbView-2 SeaWIFS mostraron en esas aguas costeras “anómalamente cálidas”, valores de (c) de clor *a* típicamente eutróficas entre 3 y 6 mg/m³. Los mapas de (SLA) y los campos de corriente geostrófica de los radares altimétricos TOPEX y JASON, mostraron una elevada estabilidad y convergencia (SLA +) en las aguas superficiales. Los campos de corriente geostrófica (SST y Clor *a*) mostraron además otro evento significativo que resultaría revelador. Un jet advectivo “típico” se desprendía del afloramiento y se dirigía hacia el SE de aguas del Archipiélago Canario.

6 Conclusiones

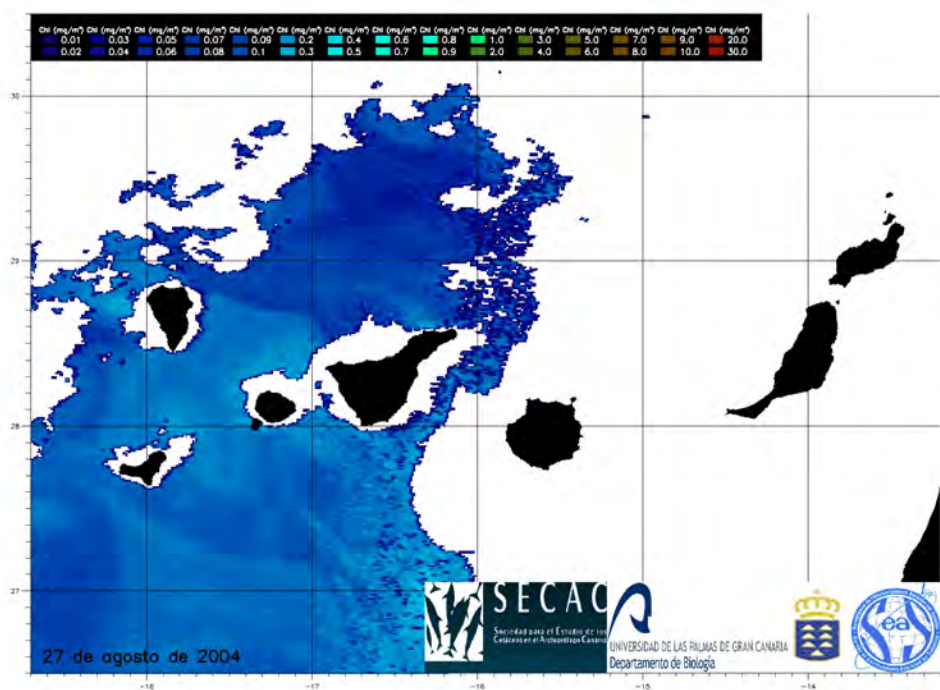
1. En los mapas se aprecia la asociación de *Caretta caretta*, *Tursiops truncatus* y *Globicephala macrorhynchus* con las estructuras oceanográficas visualizadas en las imágenes de temperatura superficial del mar (estelas al sur de las islas).
2. Las tres especies señaladas no muestran asociación con las estructuras visualizadas en las imágenes de concentración de clorofila-a.
3. Los valores de temperatura superficial del mar presentan diferencias significativas entre el norte y el sur de las islas.
4. Los valores de concentración de clorofila-a no presentan diferencias significativas entre el norte y el sur de las islas.
5. Los valores de la SLA no presentan diferencias significativas entre el norte y el sur de las islas.
6. Los valores y las estructuras visibles en las imágenes de bombeo de Ekman muestran diferencias importantes entre el norte y el sur de las islas.
7. Si hay diferencias entre las tres especies en cuanto a los valores de temperatura superficial en los puntos de avistamiento, tanto en media como en la distribución de los valores de la misma. *Caretta caretta* presenta avistamientos sobre valores más cálidos, *Tursiops truncatus* sobre valores intermedios y *Globicephala macrorhynchus* sobre valores más fríos.
8. No hay diferencias significativas entre las tres especies en cuanto a los valores de concentración de clorofila-a en los puntos de avistamiento.

7 Bibliografía

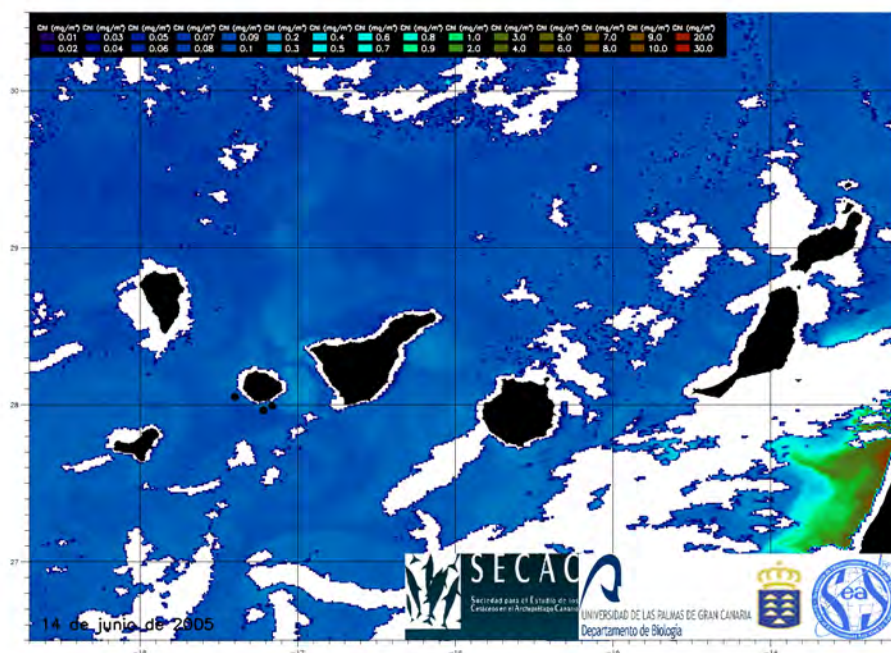
- ABBOT, M.R. y P.M. ZION. 1987. SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF PHYTOPLANKTON PIGMENTS OF NORTHERN CALIFORNIA DURING COASTAL OCEAN DYNAMICS EXPERIMENTS. *J. GEOPHYS. RES.*, 92(C2): 1745-1755.
- ARISTEGUI, J., S. HERNÁNDEZ-LEÓN, M.F. MONTERO, S. BALLESTEROS y G. BASTERRETXEA. (1991) THE BIOLOGICAL PUMP IN ISLAND-INDUCED EDDIES. (ABSTRACT). EN: PRIMARY PRODUCTIVITY AND BIOCHEMICAL CYCLES IN THE SEA. P.G FALKOWSKI y A.D. WOODHEAD [Eds.], PLENUM PRESS, NEW YORK. ARISTEGUI, J., P. SANGRÁ, S. HERNÁNDEZ-LEÓN, M. CANTÓN, A. HERNÁNDEZ-GUERRA, y J. KERLING (1994). ISLAND-INDUCED EDDIES IN THE CANARY ISLANDS. *DEEP-SEA RES.* (EN PRENSA).
- BAKUN, A. y C.S. NELSON. 1991. THE SEASONAL CYCLE OF WIND-STRESS CURL IN SUBTROPICAL EASTERN BOUNDARY CURRENT REGIONS. *J. GEOPHYS. RES.*, 96(C12): 1815-1834.
- BARTON, E.D., J. ARÍSTEGUI, P. TETT, M. CANTÓN, J. GARCÍA-BRAUN, S. HERNÁNDEZ-LEÓN, L. NYKJAER, C. ALMEIDA, J. ALMUNIA, S. BALLESTEROS, G. BASTERRETXEA, J. ESCÁNEZ, L. GARCÍA-WEILL, A. HERNÁNDEZ-GUERRA, F. LÓPEZ-LAATZEN, R. MOLINA, M.F. MONTERO, E. NAVARRO-PÉREZ, J.M. RODRÍGUEZ, K. VAN LENNING, H. VÉLEZ, K. WILD. 1998. THE TRANSITION ZONE OF THE CANARY CURRENT UPWELLING REGION. *PROG. OCEANOGR.*, 41:455-504.
- BARTON, E.D., A. HUYER, R.L. SMITH (1977). TEMPORAL VARIABILITY IN THE HYDROGRAPHIC REGIME NEAR CABO CORVEIRO IN THE NW AFRICAN UPWELLING REGION. *DEEP-SEA RES.* 24(1), 7-23.
- BLANC, T.V., W.J. PLANT y W.C. KELLER. 1989. THE NAVAL RESEARCH LABORATORY'S AIR-SEA INTERACTION BLIMP EXPERIMENT. *BULL. AM. METEOROL. SOC.*, 70(4): 198-227. GEERNAERT, G.L. 1988. MEASUREMENTS OF THE ANGLE BETWEEN THE WIND VECTOR AND THE WIND STRESS VECTOR IN THE SURFACE LAYER OVER THE NORTH SEA. *J. GEOPHYS. RES.*, 93(C7): 8215-8220.
- BRAUN, J. G., A.R. DE LEÓN (1974). VARIACIONES EN LA PRODUCCIÓN PRIMARIA EN AGUAS CANARIO-AFRICANAS. *BOL. INS. ESP. OCEANOGR.* 176, 1-24.
- BRAUN, J. G. (1980). ESTUDIOS DE PRODUCCIÓN EN AGUAS DE LAS ISLAS CANARIAS. I. HIDROGRAFÍA, NUTRIENTES Y PRODUCCIÓN PRIMARIA. *BOL. INS. ESP. OCEANOGR.* TOMO V, Nº 285.
- CODISPOTI, L.A., G.E. FRIEDERICH (1978). LOCAL AND MESOSCALE INFLUENCES ON NUTRIENT VARIABILITY IN THE NORTHWEST AFRICAN UPWELLING REGION NEAR CABO CORVEIRO, *DEEP-SEA RES.* 25, 751-770.
- DOTY, M.S., M. OGURI (1956). THE ISLAND MASS EFFECT. *J. CONSEIL PERM.INT. EX. MER.*, 22, 33-37.

- FALKOWSKI, P.G., D. ZIEMANN, Z. KOLBER, P.K. BIENFANG (1991). ROLE OF EDDY PUMPING IN ENHANCING PRIMARY PRODUCTION IN THE OCEAN. *NATURE*, 352, 55-58.
- GÓMEZ, M.M. (1991). BIOMASA Y ACTIVIDAD METABÓLICA DEL ZOOPLANKTON EN RELACIÓN CON UN EFECTO DE MASA DE ISLA EN AGUAS DE GRAN CANARIA. TESIS DOCTORAL. ULPGC. 236pp.
- HOGG, N.G., E.J. KATZ, T.B. SANFORD (1978). EDDIES, ISLANDS AND MIXING. *J. GEOPHYS. RES.* 83, 2921-2938.
- KERR, R.A. (1985). LONG-LIVED SMALL EDDIES ARE CROSSING THE OCEANS CARRYING THE EFFECTS OF LOCAL MIXING HUNDREDS AND EVEN THOUSANDS OF KILOMETERS. *SCIENCE*, 230, 793.
- MOLINA, R. (1976). CONSIDERACIONES SOBRE LA CORRIENTE DE CANARIAS. II ASAMBLEA NACIONAL DE GEODESIA Y GEOFÍSICA, COMUNICACIONES. 3, 1567-1588.
- OWEN, R.W. (1981). FRONTS AND EDDIES IN THE SEA: MECHANISMS, INTERACTIONS AND BIOLOGICAL EFFECTS. EN: ANALYSES OF MARINE ECOSYSTEMS. A.R. LONGHURST [ED.], ACADEMIC PRESS. 197-233.
- PELÁEZ, J. Y J.A. MCGOWAN. 1986. PHYTOPLANKTON PIGMENT PATTERNS IN THE CALIFORNIA CURRENT AS DETERMINED BY SATELLITE. *LIMNOL. OCEANOGR.*, 31(3): 927-950. PHILLIPS, O.M. 1988. RADAR RETURNS FROM THE SEA SURFACE – BRAGG SCATTERING AND BREAKING WAVES. *J. PHYS. OCEANOGR.*, 18(8): 1065-1074.
- PINGREE, R; GARCIA-SOTO, C., 2004. ANNUAL WESTWARD PROPAGATING ANOMALIES NEAR 26 DEGREES N AND [EDDY GENERATION SOUTH OF THE CANARY ISLANDS: REMOTE SENSING \(ALTIMETER/SEAWIFS\) AND IN SITU MEASUREMENT](#) .JOURNAL OF THE MARINE BIOLOGICAL ASSOCIATION OF THE UNITED KINGDOM [J. MAR. BIOL. ASSOC. U.K.]. VOL. 84, NO. 6, PP. 1105-1115.
- ROSS, N.H. Y J.F. LOUIS. 1990. THE INFLUENCE OF ATMOSPHERIC STRATIFICATION ON SCATTEROMETER WINDS. *J. GEOPHYS. RES.*, 95(C6): 9723-9730
- SANGRA, P; PELEGRI, JL; HERNANDEZ-GUERRA, A; ARREGUI, IGOR; MARTIN, JM; MARRERO-DIAZ, A; MARTINEZ, A; RATSIMANDRESY, AW; RODRIGUEZ-SANTANA, A., 2005. LIFE HISTORY OF AN ANTICYCLONIC [EDDY](#) .JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH. C. OCEANS [J. GEOPHYS. RES. (C OCEANS)]. VOL. 110, NO. C3, [NP]..
- TEJERA, C.A. (1996). ESTUDIO DE ESTRUCTURAS OCEANOGRÁFICAS A MESOESCALA EN [LA CUENCA CANARIA MEDIANTE LOS ALTÍMETROS DE LOS SATÉLITES GEOSAT, ERS-1 Y TOPEX/POSEIDON](#). TESIS DOCTORAL. ULPGC. 203pp.

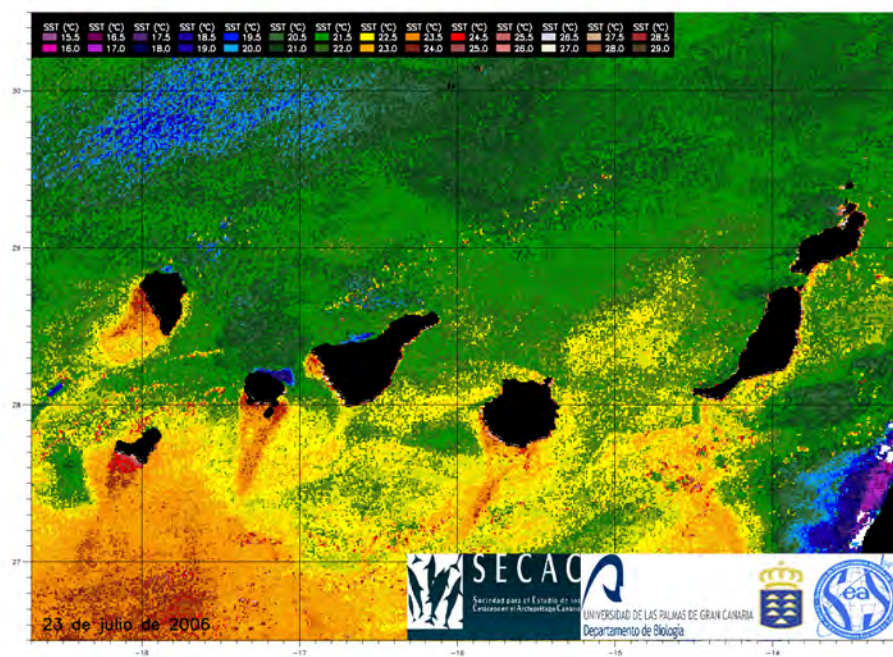
Anexos



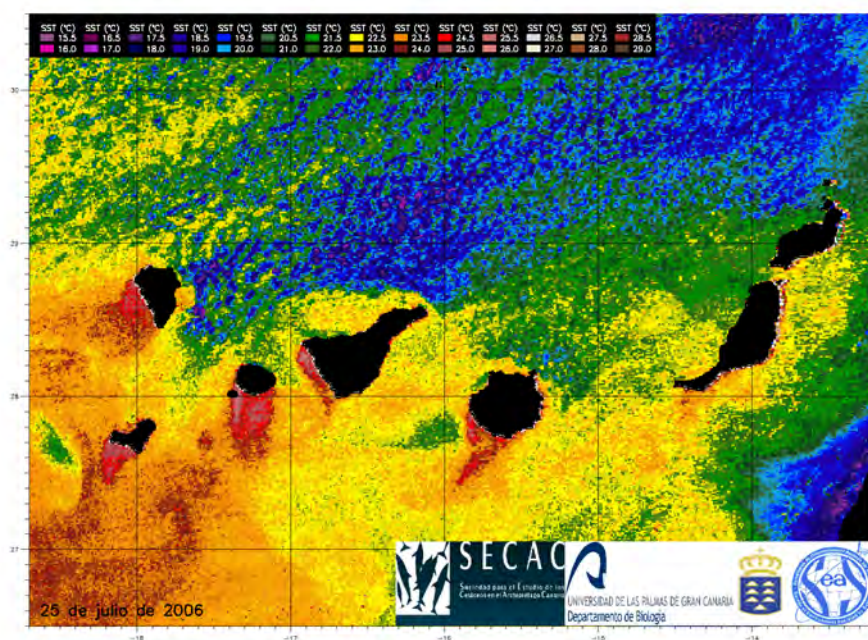
Anexo 1. Mapa de clorofila del 27 de agosto de 2004 con avistamiento de *Caretta caretta*.



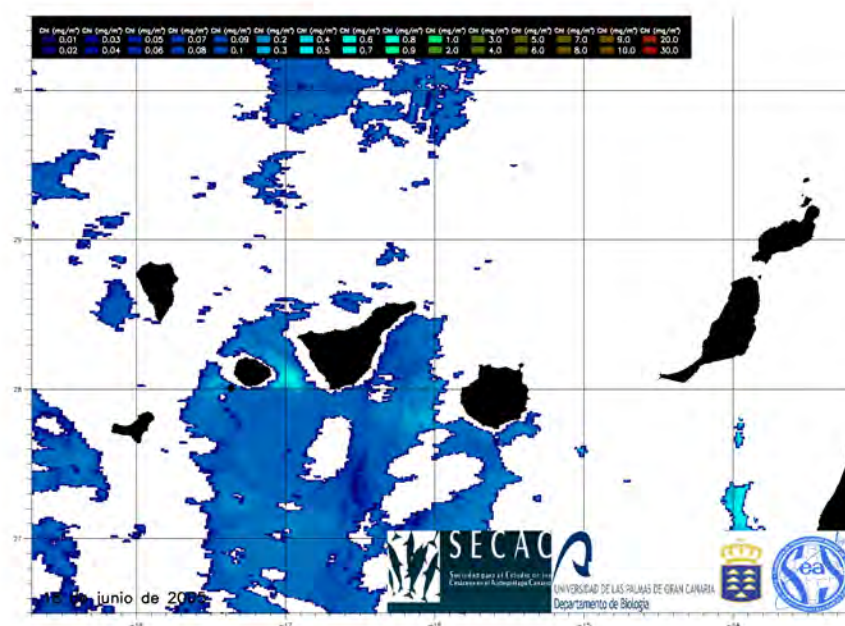
Anexo 2. Mapa de clorofila del 14 de junio de 2005 con avistamiento de *Caretta caretta*.



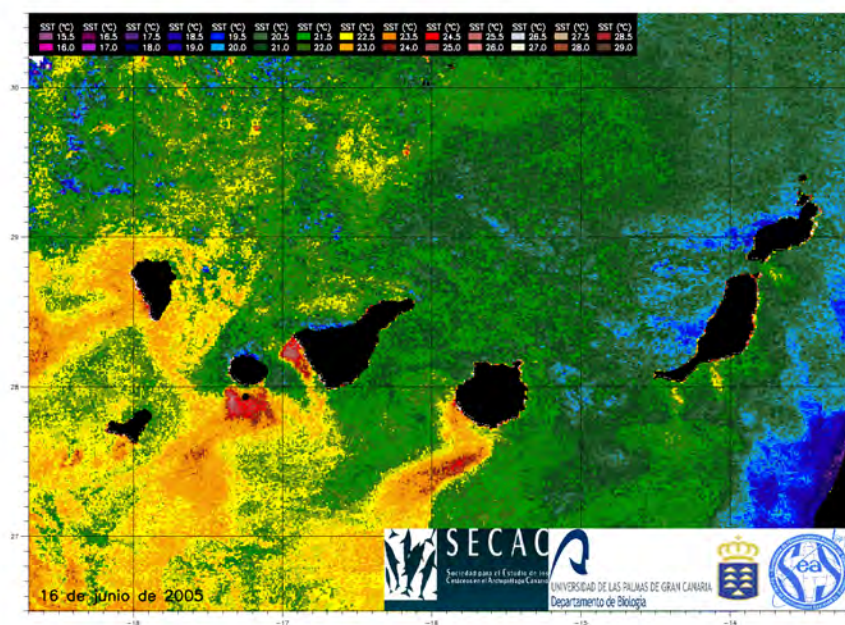
Anexo 3. Mapa de SST del 23 de julio de 2006 con avistamiento de *Caretta caretta*.



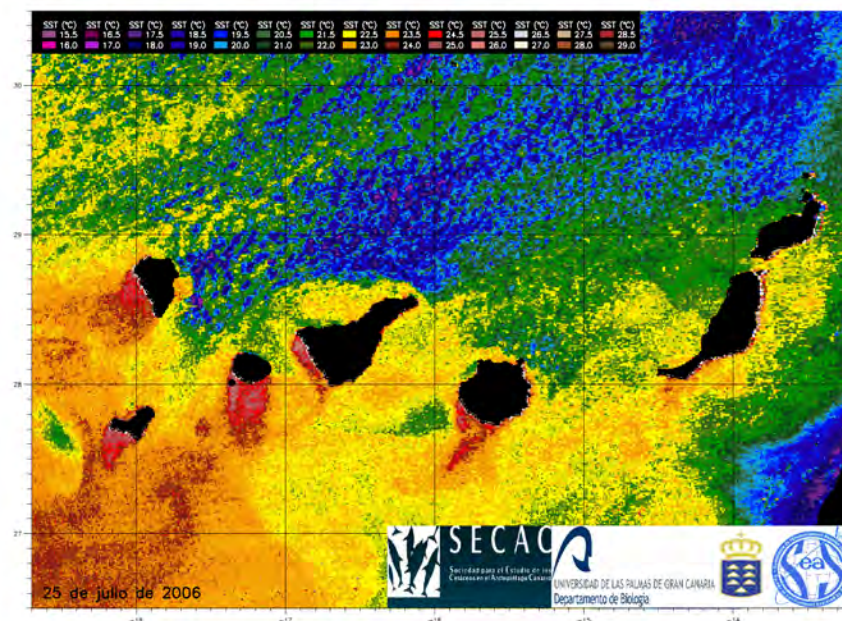
Anexo 4. Mapa de SST del 25 de julio de 2006 con avistamiento de *Caretta caretta*.



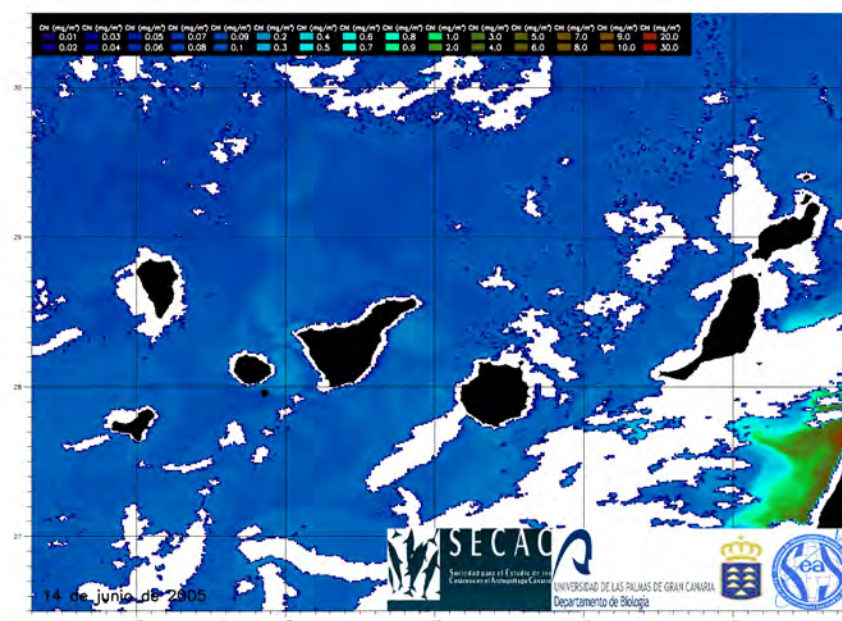
Anexo 5. Mapa de clorofila del 18 de junio de 2005 con avistamiento de *Globicephala macrorhynchus*.



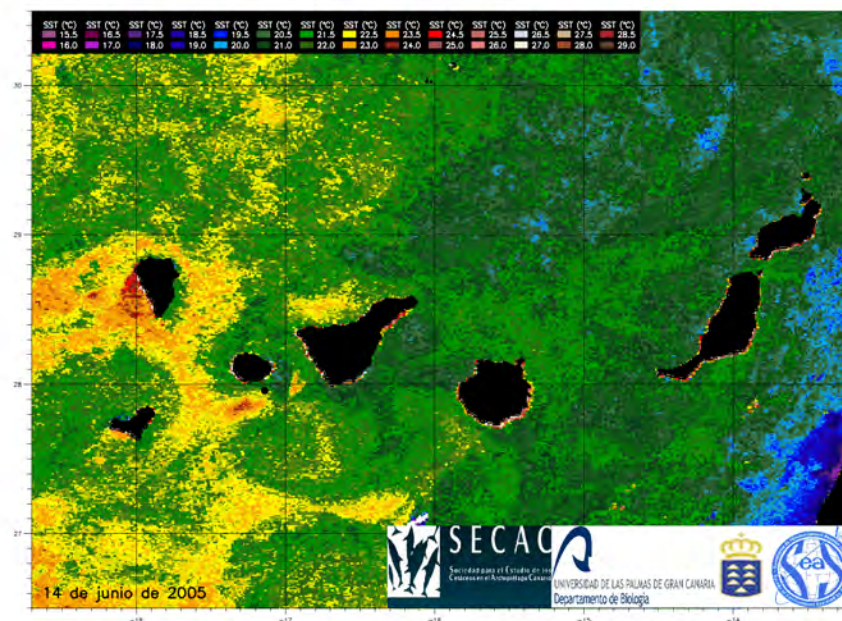
Anexo 6. Mapa de SST del 16 de junio de 2005 con avistamiento de *Globicephala macrorhynchus*.



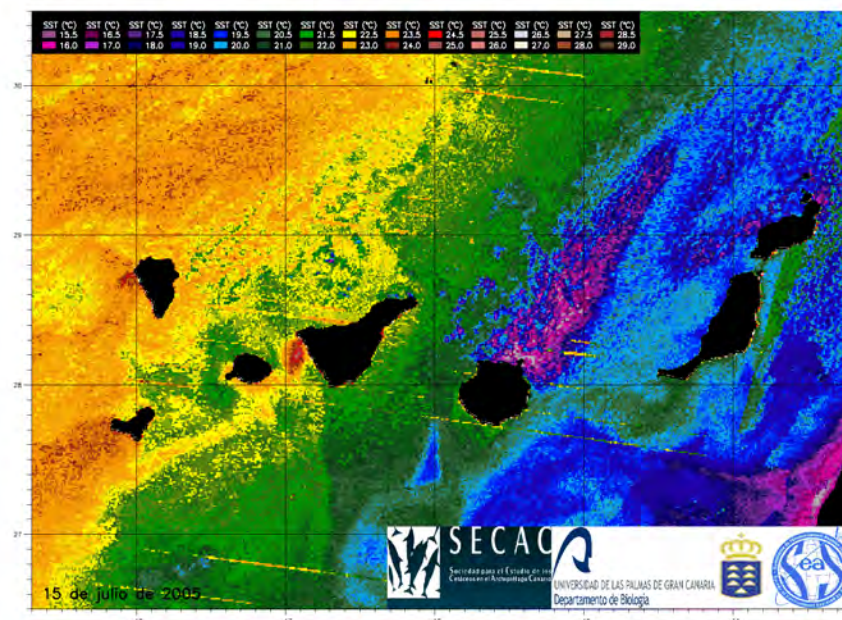
Anexo 7. Mapa de SST del 25 de julio de 2006 con avistamiento de *Globicephala macrorhynchus*.



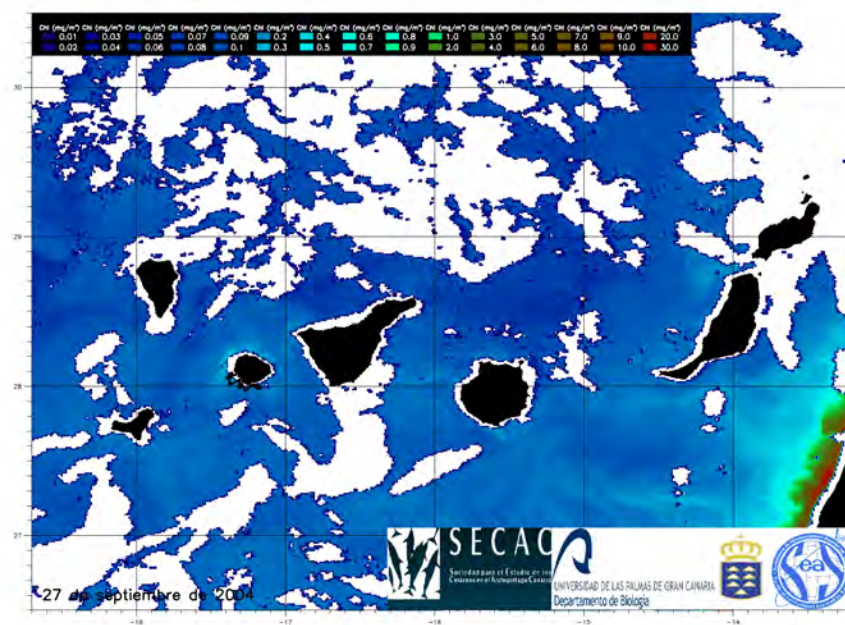
Anexo 8. Mapa de clorofila del 14 de junio de 2005 con avistamiento de *Tursiops truncatus*.



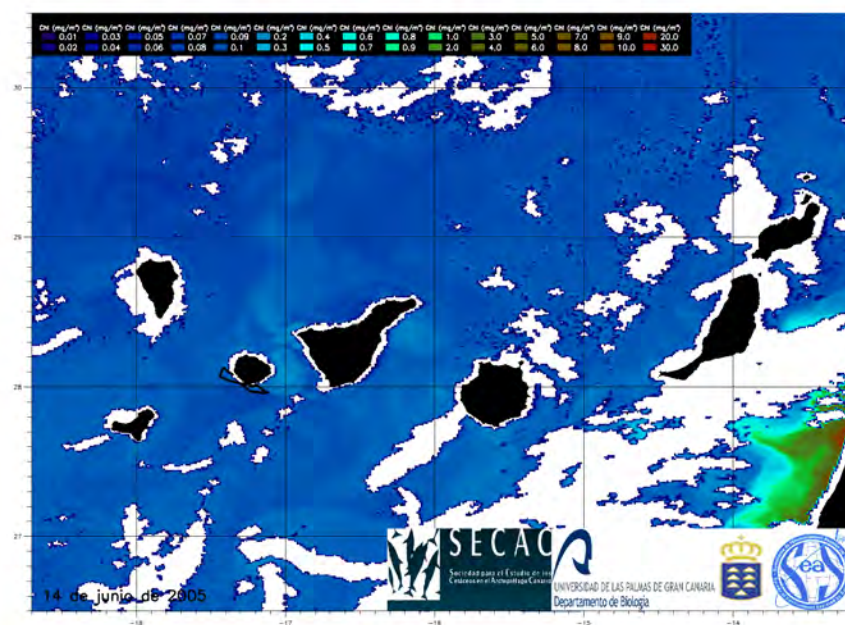
Anexo 9. Mapa de SST del 14 de junio de 2005 con avistamiento de *Tursiops truncatus*.



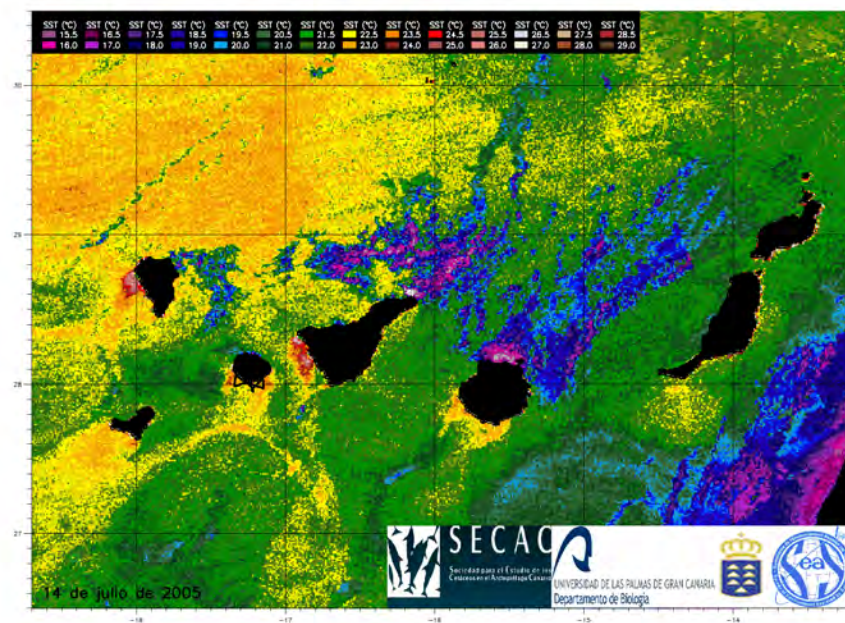
Anexo 10. Mapa de SST del 15 de julio de 2005 con avistamiento de *Tursiops truncatus*.



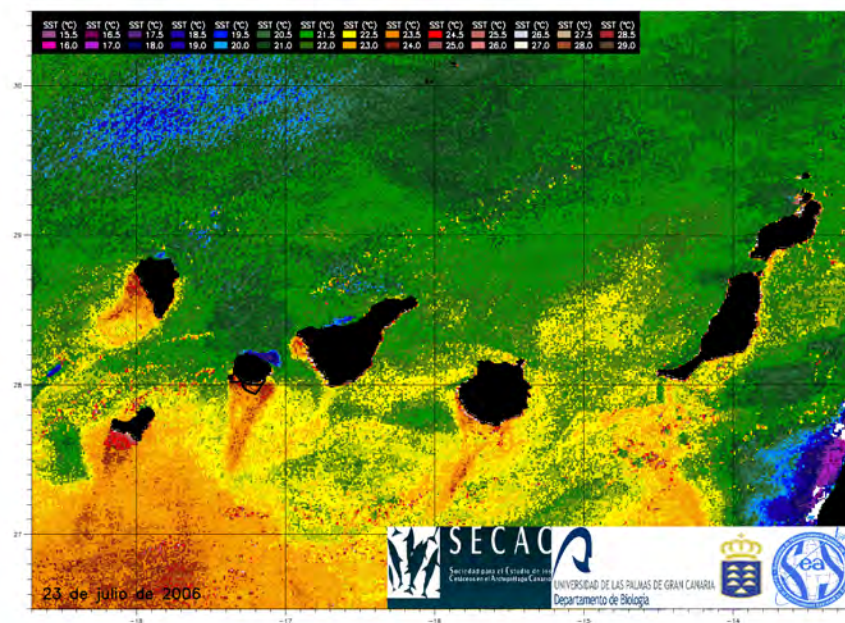
Anexo 11. Mapa de clorofila del 27 de septiembre de 2004 con un recorrido de cetáceos.



Anexo 12. Mapa de clorofila del 14 de junio de 2005 con un recorrido de cetáceos.



Anexo 13. Mapa de SST del 14 de julio de 2005 con un recorrido de cetáceos.



Anexo 14. Mapa de SST del 23 de julio de 2006 con un recorrido de cetáceos.