

ÍNDICE

	Pag.
Antecedentes	v
Objetivos de este estudio	vii
Estructura y resumen de este trabajo	ix
1. Introducción	
1.1. Orígenes de la teledetección	1
1.2. Los satélites y sus órbitas	3
1.3. Sensores instalados en satélites	6
1.4. Aplicaciones en oceanografía	8
2. Sensor AVHRR y método de obtención de la temperatura superficial del mar	
2.1. Generalidades	13
2.2. Características del sensor AVHRR	15
2.2.1 Tipos de datos	16
2.3. Calibración geofísica	17
2.3.1. Corrección atmosférica	22
2.3.2. Método multibanda para la corrección atmosférica	24
2.3.3. Algoritmos para la temperatura superficial del mar	32
3. Sensor CZCS y método de obtención de la Concentración de Pigmento de tipo Clorofílico	
3.1. Generalidades	45
3.2. Características del sensor CZCS	46
3.3. Propiedades ópticas del agua del mar	48
3.4. Calibración geofísica	55
3.4.1. Corrección atmosférica	56
3.4.2. Pérdida de sensibilidad del CZCS	71
3.4.3. Algoritmos para la concentración de pigmento de tipo clorofílico	72

4. Estructuras oceanográficas recurrentes en las Islas Canarias	
4.1. Introducción	75
4.2. Area bajo estudio	80
4.3. Estructuras oceanográficas recurrentes en las imágenes de Concentración de Pigmento de tipo Clorofílico	83
4.3.1. El afloramiento del Noroeste de Africa cercano a las Islas Canarias	89
4.3.2. La repercusión del afloramiento en las Islas Canarias	95
4.3.3. Las estructuras oceanográficas de las Islas Canarias independientes del afloramiento	105
4.4. Estudio de una imagen de Concentración de Pigmento de tipo Clorofílico	111
4.5. Estructuras oceanográficas recurrentes en relación con la batimetría	122
4.6. Imágenes de Temperatura Superficial del Mar	141
4.6.1. Estructuras oceanográficas recurrentes en las imágenes de Temperatura Superficial del Mar	142
4.6.2. Estudio de estructuras oceanográficas en imágenes consecutivas de Temperatura Superficial del Mar	149
Conclusiones y principales aportaciones	181
Areas de futuras investigaciones	184
Bibliografía	187

ANTECEDENTES

Este trabajo, iniciado en el año 1987, es el primero de una serie que ha abierto una nueva línea de investigación en nuestra Universidad, en el campo de la teledetección aplicada al estudio del océano.

Se pretende con ello, entre otras cosas, contribuir con esta potente herramienta a los proyectos de investigación que se vienen desarrollando en la joven Facultad de Ciencias del Mar de la ULPGC, así como desarrollar otros de forma independiente. Los datos suministrados por sensores instalados en plataformas espaciales (aviones, lanzaderas, satélites) son hoy imprescindibles para la investigación oceanográfica en general. Desde hace años esto es algo incuestionable entre la comunidad científica internacional y por supuesto, entre los científicos de nuestra Facultad, con algunos de los cuales formamos parte importante de proyectos de investigación regionales, nacionales e internacionales, aparte de los que nuestro grupo desarrolla de forma independiente.

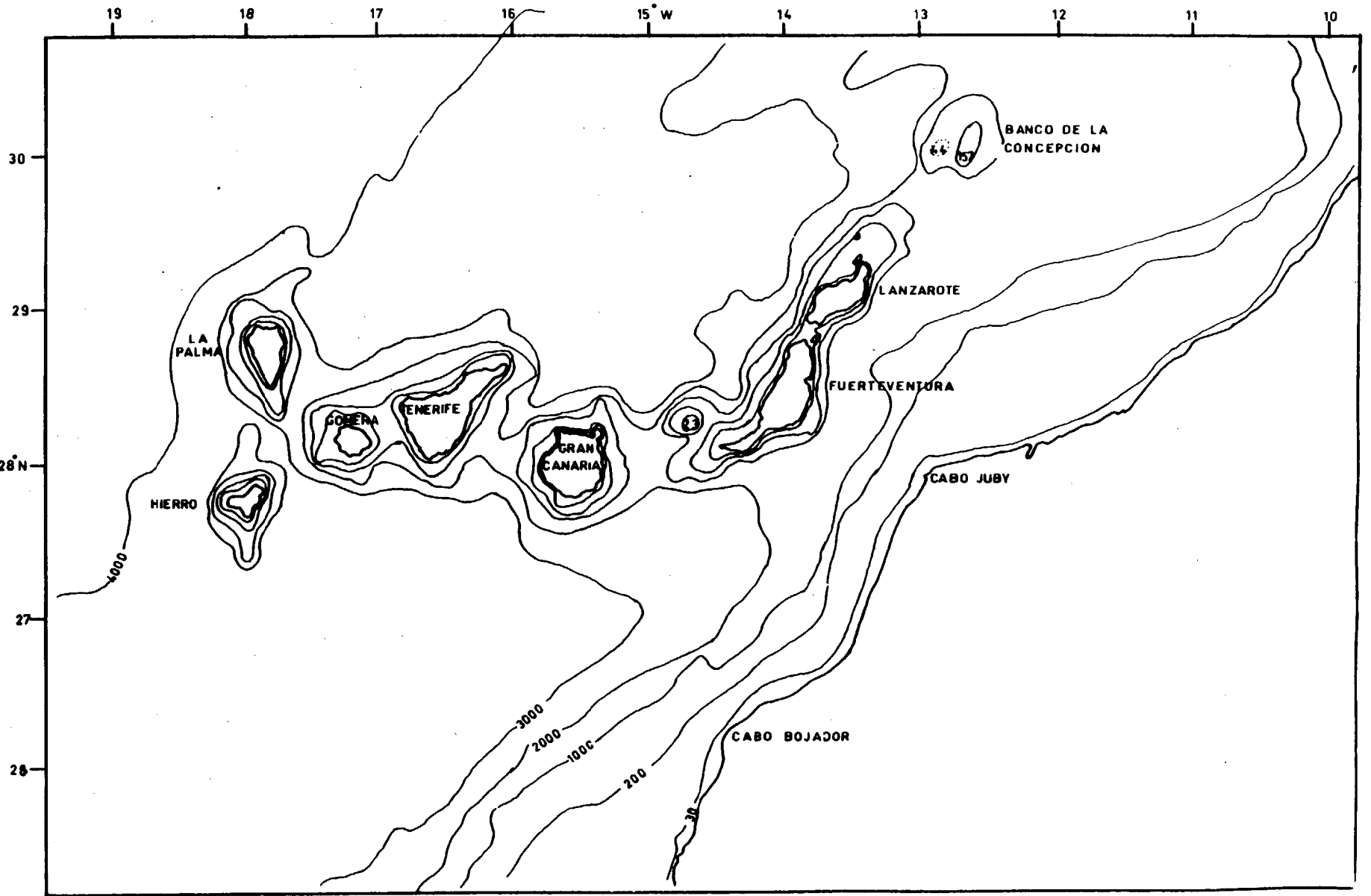
Nuestro acercamiento a la Oceanografía por Satélite se ha producido no desde la Oceanografía, sino desde el campo del procesamiento de imágenes, lo que supone una grave desventaja a la hora de la interpretación de resultados. Sin embargo, el autor de este trabajo ha realizado un gran esfuerzo en salvar este obstáculo, y si se tiene en cuenta mi interesada opinión y el hecho de que para el periodo de estudio no se ha dispuesto prácticamente de datos in situ, pese a la exhaustiva búsqueda realizada, pensamos que los resultados finales se han explotado al máximo desde un punto de vista Oceanográfico.

No quisiera finalizar estos antecedentes sin resaltar el papel que jugaron en el arranque de esta línea de trabajo, las estancias del director del trabajo en la estación de recepción y laboratorio de teledetección del Applied Physics Department de la Universidad de Dundee (Escocia) y, sobre todo, la estancia de nueve meses del autor del trabajo, en el Instituto de Teledetección del Joint Research Centre de la C.E. en Ispra (Italia).



Dr. Manuel Cantón Garbín

Mapa 1.1. Area bajo estudio.
VI



OBJETIVOS DE ESTE ESTUDIO

Este trabajo tiene como principal objetivo el estudio oceanográfico de las estructuras a mesoscala de las aguas que rodean las Islas Canarias, (mapa 1.1) mediante la aplicación de los datos suministrados por los sensores AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) y CZCS (Coastal Zone Color Scanner). No nos ha sido posible realizar un estudio de las causas que pudieran producir las estructuras observadas, debido a la carencia de medidas in situ simultáneas en el tiempo a las escenas procesadas de los sensores mencionados.

De todos los sensores instalados en satélites en órbita alrededor de la Tierra, hemos escogido el AVHRR y el CZCS para el desarrollo de nuestro estudio, y ello por varias razones fundamentales. En primer lugar, por el tipo de parámetros suministrados, temperatura superficial del mar en el caso del sensor AVHRR y concentración de pigmentos de tipo clorofílico en el caso del sensor CZCS. En segundo lugar, porque la estación de Maspalomas, estación que cubre perfectamente el área bajo estudio, dispone de un extenso archivo de datos de ambos sensores. En tercer lugar, porque ambos sensores están destinados, por su resolución espacial, a estudios de fenómenos a mesoscala. Los restantes sensores de cuyos datos posee la estación de Maspalomas un amplio archivo están destinados, por su resolución espacial, a aplicaciones costeras y, consecuentemente, no son útiles para nuestros fines.

Nuestro propósito inicial, surgido a partir de la bibliografía consultada, la cual afirma el carácter oligotrófico de las aguas que rodean al Archipiélago a excepción del máximo primaveral, era el de procesar una escena CZCS al mes. Para ello, analizamos los quick-looks de las escenas correspondientes a todos los años recogidos en el archivo de la estación de Maspalomas (del orden de 3500), con el objeto de seleccionar aquel año que nos pudiera proporcionar doce escenas -una al mes- libres de nubes. El procesamiento de las escenas seleccionadas nos permitió descubrir con sorpresa que las afirmaciones vertidas en la bibliografía consultada no se correspondían exactamente con nuestros resultados. Consecuentemente, este hallazgo nos obligó a modificar el objetivo inicial de nuestro estudio.

Otro de los objetivos de nuestro trabajo consistía en la realización

de un estudio simultáneo de las imágenes de Temperatura Superficial del Mar (TSM) obtenidas por medio de los datos del sensor AVHRR, y de las imágenes de Concentración de Pigmento de tipo Clorofílico (CPC) obtenidas por medio de los datos del sensor CZCS. Para ello tuvimos que recurrir a los datos de baja resolución espacial, datos GAC (Global Area Coverage), del sensor AVHRR, debido a que la estación de Maspalomas empezó a adquirir los datos de alta resolución espacial, datos HRPT (High Resolution Picture Transmission), de este sensor en 1986, cuando el sensor CZCS había dejado de operar, y debido también a que la estación de Lannion en Francia que cubre también el área de las Islas Canarias, sólo conservaba su archivo de datos durante un año. Ante la imposibilidad de obtener estos datos de alta resolución del sensor AVHRR, orientamos nuestro estudio a comprobar que las mismas estructuras oceanográficas observadas en las imágenes de CPC tienen su correspondencia en las imágenes de TSM, a excepción de una de estas estructuras que también estudiaremos.

Queremos resaltar la novedad de este estudio por ser el primero en aplicar los datos de los sensores AVHRR y CZCS de manera específica a esta área. Esperamos contribuir con ello a un mayor conocimiento oceanográfico de estas aguas.

ESTRUCTURA Y RESUMEN DE ESTE TRABAJO

Comenzamos esta memoria con un capítulo en el que introducimos los términos fundamentales empleados en teledetección desde satélite, al mismo tiempo que describimos brevemente los sensores que se utilizan más a menudo en Oceanografía, indicando bajo qué condiciones y a qué tipo de fenómenos son útiles los datos que suministran.

En los capítulos 2 y 3 exponemos, tras una descripción de los sensores AVHRR y CZCS respectivamente, el método seguido para el procesamiento de los datos suministrados por ambos sensores hasta la obtención de los parámetros geofísicos requeridos, incluyendo una amplia justificación física del mismo para obtener, así, imágenes de Temperatura Superficial del Mar (TSM) e imágenes de Concentración de Pigmento de tipo Clorofílico (CPC).

En estos dos capítulos, y para no extendernos en conceptos básicos recogidos en numerosos manuales (ver, p. ej., Jerlov y Nielsen 1974, Jerlov 1976, Maul 1985), suponemos que el lector está familiarizado con los términos y conceptos empleados en Oceanografía Óptica. Teniendo en cuenta las diferentes terminologías manejadas en esta ciencia, hemos escogido la recomendada por el IAPSO (International Association for the Physical Science of the Ocean) y recogida en Morel y Smith (1982). Del mismo modo, señalamos algunos conceptos relativos a los procesos que tienen lugar en la atmósfera relacionados con la señal procedente del océano que, de un modo más extenso, podemos encontrar en textos básicos (ver, p. ej., Van de Hulst 1957, Sobolev 1975).

La temperatura superficial del mar la hemos calculado utilizando la expresión que, para la corrección atmosférica, Castagné *et al.* (1986) obtuvieron un poco al Norte del área bajo estudio (en el océano Atlántico: 35-53°N, 1-21°W) por ser la más próxima a dicha área. Analizamos también los problemas que podríamos encontrar una vez realizada la corrección atmosférica, como la presencia de grandes cantidades de aerosoles en la atmósfera, la presencia de nubes y los efectos superficiales.

La concentración de pigmento de tipo clorofílico la hemos calculado mediante la expresión obtenida por Sturm, no publicada, quien ajustó datos de pigmentos medidos *in situ*, obtenidos en el afloramiento del Suroeste de Africa en

Febrero de 1980, a reflectancias subsuperficiales obtenidas de los datos del CZCS.

Las imágenes, tanto de TSM como de CPC, las hemos corregido geoméricamente con el método llamado *Punto de Control de Tierra* (Langemann y Popella 1983, Ho y Asem 1986) en proyección de Mercator, para facilitar la comparación entre imágenes pertenecientes a días diferentes. Las presentaremos en colores para poder apreciar mejor la distribución de temperatura y clorofila, de manera que cada color cubre un intervalo de temperatura superficial del mar y de concentración de pigmento de tipo clorofílico. Junto a estas imágenes en color, las imágenes de CPC, y no las de TSM porque no ha sido necesario, aparecen también en niveles de grises, elaboradas con técnicas de mejora de imagen, con el objeto de distinguir con mayor claridad las estructuras que señalaremos. Las cruces blancas presentes en las imágenes indican 1 grado en latitud y longitud, y la línea blanca a lo largo de la costa africana representa la isóbata de 200 m que coincide aproximadamente con el fin de la plataforma. Por otro lado, las imágenes de TSM y de CPC presentan ciertas diferencias:

1. En las imágenes de TSM hemos enmascarado el Continente Africano y lo representamos en color negro; las nubes las hemos enmascarado según un criterio basado en temperatura: si la temperatura de un pixel es inferior a 15°C lo interpretamos como una nube y lo representamos en color blanco.
2. En las imágenes de CPC representamos en color negro la tierra, nubes y áreas de aerosoles que saturan la banda 4.

En el capítulo 4, tras describir las particularidades oceanográficas del área bajo estudio limitándonos al propósito de nuestro trabajo y, por tanto, a la capa superficial del océano, realizamos varios estudios utilizando las imágenes de CPC y de TSM procesadas en este trabajo.

El primero de ellos, el estudio de las imágenes de CPC, lo hemos realizado procesando 25 escenas del CZCS, publicadas en Hernández-Guerra (1989). Nuestro propósito inicial, como ya indicamos en los objetivos, era el de procesar una escena CZCS al mes para confirmar el carácter oligotrófico de las aguas que rodean a las Islas Canarias a excepción del máximo primaveral apuntado en la bibliografía. El procesamiento de estas escenas nos obligó a modificar este propósito inicial, convertido entonces en un estudio oceanográfico de las estructuras a mesoscala de las aguas que

rodean el Archipiélago. Al estudiar dichas imágenes hemos comprobado que, además de existir estructuras propias en el Archipiélago, el afloramiento ejerce una gran influencia en el mismo. Es por ello por lo que hemos dividido este estudio en tres apartados referentes a:

1. El afloramiento del Noroeste de Africa cercano a las Islas Canarias.
2. La repercusión del afloramiento en las Islas Canarias.
3. Las estructuras oceanográficas de las Islas Canarias independientes del afloramiento.

Las estructuras oceanográficas observadas en relación con el primer apartado no nos han producido sorpresa ya que han sido referenciadas en otros afloramientos y en este mismo. Sin embargo, las estructuras incluidas en el segundo y, sobre todo, en el tercer apartado, suponen una nueva contribución al estudio oceanográfico del área, puesto que en ningún momento han sido reseñadas con anterioridad.

El **segundo** de ellos consiste en el estudio de una imagen de CPC en la que analizaremos nuevamente las estructuras oceanográficas recurrentes de los tres apartados mencionados. Nuestro propósito es constatar que estas estructuras no constituyen fenómenos excepcionales sino que, por el contrario, coinciden con la tónica general de los estudios oceanográficos realizados en otras áreas. En este mismo sentido, examinamos también los trabajos realizados en nuestra área de estudio que insinúan o señalan algunas de las estructuras que nosotros encontramos.

Analizamos también en este segundo estudio, una estructura presente en esta imagen y en dos imágenes de TSM de datos GAC (Global Area Coverage) de dos días consecutivos en relación con la imagen de CPC.

El **tercero** de ellos consiste en el estudio comparativo entre las estructuras oceanográficas observadas y la batimetría, con el propósito de analizar la posible relación existente entre ellas. Hemos limitado este estudio a esta relación y no lo hemos extendido a todas las posibles causas que pudieran producir la presencia de estas estructuras, debido a que precisaríamos de una gran variedad de datos oceanográficos (físicos, químicos y biológicos) simultáneos a las imágenes, inexistentes en el área bajo estudio. Presentamos también aquí, un mapa de interés porque nos podría mostrar el origen y evolución del remolino ciclónico de la isla de Gran

Canaria.

El cuarto de ellos, el estudio de las imágenes de TSM de datos HRPT (High Resolution Picture Transmission), lo hemos realizado procesando 53 escenas HRPT del AVHRR y publicadas en Hernández-Guerra (1988) y Hernández-Guerra (1989).

En primer lugar mostramos una imagen de TSM con el objeto de comprobar que las mismas estructuras oceanográficas observadas en las imágenes de CPC tienen su correspondencia en las imágenes de TSM, si bien por utilizar una sola imagen no podremos referirnos a todas ellas.

En segundo lugar presentamos 4 imágenes consecutivas de TSM para estudiar uno de los fenómenos más sorprendentes que hemos podido observar y que no tiene su correspondiente manifestación en las imágenes de CPC, como son las largas estelas de agua caliente a sotavento de las islas, y una estructura de la isla de Gran Canaria presente tanto en las imágenes de CPC como de TSM, donde además presentamos datos AXBT (Airborne expendable bathythermographs) que también muestran esta estructura.