

PRINCIPALES FENOMENOS OCEANOGRÁFICOS EN LA ZONA DE CANARIAS OBSERVADOS AL PROCESAR IMÁGENES DE LOS SENSORES AVHRR y CZCS

A. HERNANDEZ GUERRA¹; M. CANTON GARBIN¹ y A. SAN JUAN²

¹Dpto. de Física, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Aptdo. 550. 35016 LAS PALMAS.

²Dpto. de Topografía, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

RESUMEN

En este artículo se presentan los principales fenómenos oceanográficos observados al procesar datos de los sensores AVHRR y CZCS en las aguas que rodean a las Islas Canarias. Una vez procesados estos datos en mapas de temperatura superficial del mar y de concentraciones de pigmento de tipo clorofílico, respectivamente, se observa que el afloramiento del Noroeste de África cercano a las islas ejerce una gran influencia sobre las mismas. Por esta razón, las características oceanográficas encontradas se dividen en tres apartados:

1. El afloramiento del Noroeste de África junto a las Islas Canarias.
2. La repercusión del afloramiento en las Islas Canarias.
3. Las características oceanográficas en las Islas Canarias independientes del afloramiento.

Se muestra un mapa de temperatura superficial del mar y otro de concentraciones de pigmento de tipo clorofílico con un día de diferencia, donde se describen las principales características oceanográficas observadas referentes a los tres apartados mencionados.

Palabras clave: CZCS, AVHRR, Islas Canarias.

ABSTRACT

In this paper the main oceanographic features observed after the processing of AVHRR and CZCS data in the surrounding waters of Canary Island are shown. After the processing of these data to produce sea surface temperature and chlorophyll-like pigment concentration maps, it is observed that the Northwest African upwelling close to the islands has a great influence on them. Because of this, the observed oceanographic features have been divided into three sections:

1. The Northwest African upwelling close to the Canary Islands.
2. The influence of the upwelling on the Canary Islands.
3. The oceanographic features in the Canary Islands independent of the upwelling

Sea surface temperature and a chlorophyll-like pigment concentration maps with one day elapse are shown, and the main oceanographic features observed regarding the above mentioned sections are described.

Key words: CZCS, AVHRR, Canary Islands.

1. INTRODUCCION

La gran mayoría de las observaciones oceanográficas recientes en el área del Noroeste de África proceden del programa CINECA (Cooperative Investigation of the Northern Part of the Eastern Central Atlantic), desarrollado durante los años 1970 y 1977. Este programa se ocupó escasamente de la Corriente de Canarias, centrándose en cambio, en el afloramiento del Noroeste de África. Además, la mayor parte de las observaciones oceanográficas fueron realizadas en la región de Cabo Blanco, por lo que se prestó menor atención al área del afloramiento Canario-Sahariano. Los resultados finales del programa CINECA

se expusieron y debatieron en un simposio celebrado en Las Palmas en 1978 (Hempel, 1982), aunque posteriormente se han publicado otros resultados con los datos obtenidos con dicho programa. El uso de la teledetección durante el programa CINECA fue muy limitado ya que dicha tecnología estaba aún en su infancia: solamente se utilizaron algunas imágenes del sensor VHRR (Very High Resolution Radiometer) a bordo del NOAA-2 y NOAA-3, y se realizaron algunas observaciones con el Skylab.

En el área de las Islas Canarias, la corriente a gran escala que está presente es la llamada Corriente de Canarias: una corriente fría, con circulación débil, en dirección SO. Molina (Molina 1976), basándose en la campaña **Mediterranean Outflow** realizada en Septiembre de 1965, pone de relieve la debilidad de la intensidad y la variabilidad de la dirección de la corriente.

En la bibliografía consultada sólo hemos encontrado un artículo (Van Camp, et al., en prensa) que utiliza los datos del CZCS y AVHRR en el área de las Islas Canarias, pero haciendo un estudio de todo el afloramiento del Noroeste de Africa, sin centrarse específicamente en las Islas.

En este estudio hemos pretendido extraer toda la información oceanográfica relevante en el área de las Islas Canarias, a partir de la información suministrada por los sensores AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) del NOAA-7 y CZCS (Coastal Zone Color Scanner) del Nimbus-7. Mientras que el sensor AVHRR proporciona información (mapas de temperatura superficial) de la capa superficial del océano (10 μm), el CZCS permite obtener mapas de concentraciones de pigmento de tipo clorofílico presentes en una capa de una profundidad aproximadamente igual a la mitad del disco de Secchi.

2. METODOLOGIA

A continuación presentamos la descripción de ambos sensores y el proceso seguido para la obtención de los parámetros de interés.

2.1. SENSOR AVHRR

2.1.1. Descripción

El sensor AVHRR es uno de los sensores a bordo de la serie de satélites operacionales TIROS y NOAA administrados por la NOAA.

Con respecto a las características espectrales, el sensor AVHRR instalado en los satélites NOAA **pares** es distinto al de los satélites **impares**. A este último se le ha denominado AVHRR/2 que es el que se ha utilizado en este trabajo.

La Tabla 1 señala las características espectrales de ambos sensores. Como se observa, el sensor AVHRR de los satélites **pares** dispone de cuatro bandas con una sola banda en infrarrojo térmico. El de los satélites **impares** presenta dos bandas en el infrarrojo térmico, lo que permite un cálculo más preciso de la temperatura superficial del mar basado en el método desarrollado por McMillin (McMillin, 1975).

TABLA 1
Características espectrales del sensor AVHRR

Banda	AVHRR (μm)	AVHRR/2 (μm)
1	0,58-0,68	0,58-0,68
2	0,725-1,1	0,725-1,1
3	3,55-3,93	3,55-3,93
4	10,5-11,5	10,3-11,3
5	repet. 4	11,5-12,5

Los datos del sensor AVHRR, o se transmiten en tiempo real a una estación receptora con resolución espacial de 1,1 km (datos HRPT-High Resolution Picture Transmission), o son procesados y almacenados a bordo y transmitidos posteriormente a una de las estaciones de la NOAA en USA con resolución espacial de 4 km (datos GAC-Global Area Coverage).

2.1.2. Obtención de Mapas de Temperatura Superficial del Mar

En este estudio, la información que deseamos obtener del sensor AVHRR es la temperatura superficial del mar calculada a partir de la radiancia emitida por la superficie del mar. Para temperaturas normales del mar, la radiación emitida está en el rango 3-15 μm con el pico de radiación en 9,3 - 10,7 μm . En el rango 3-15 μm , el efecto atmosférico es mayor en las bandas de absorción y reemisión del ozono (centrada sobre 9,6 μm), vapor de agua (centrada sobre 6,3 μm), y dióxido de carbono (centrada sobre 4,3 y 15 μm), y es mínimo sobre los rangos 3,5 - 4 μm , 8-9 μm y 10 - 13 μm , donde la absorción es principalmente debida al vapor de agua, siendo la banda 3, 5 - 4 μm la menos afectada por el vapor de agua y, consiguientemente, por la absorción atmosférica; pero, sin embargo, presenta el inconveniente de la radiación solar reflejada.

Para realizar la corrección atmosférica de los datos suministrados por el sensor AVHRR hemos aplicado el método desarrollado por McMillin (McMillin, 1975) y la expresión obtenida por Castagne et al. (Castagne, et al 1986):

$$T = T_4 + 2 \cdot (T_4 - T_5) + 0,5$$

Donde T_4 y T_5 son las temperaturas de brillo **verdaderas** de las bandas 4 y 5, respectivamente, que son las temperaturas obtenidas de los datos del sensor AVHRR, una vez calibrados éstos, al utilizar la inversa de la función de Planck y la corrección consiguiente, debida a que el sensor no tiene una respuesta lineal en radiancia (NOAA, 1986).

Castagne et al. (Castagne et al. 1986) obtuvieron los coeficientes en su expresión ajustándola a medidas in situ, tomadas con menos de una hora con respecto al paso del satélite, a 1 m de profundidad, en el Atlántico (35 - 53°N), 1 - 21°O), un poco al norte del área bajo estudio. Nosotros hemos utilizado esta expresión en nuestro trabajo por no existir otra más cercana al área de estudio. Posteriormente, Le Borgne et al (Le Borgne et al. 1988) comprobaron esta expresión con medidas in situ hechas por boyas y barcos oceanográficos obtenidas con ± 1 hora, en los pases diurnos del satélite y con ± 3 horas, en los pases nocturnos. Obtuvieron una desviación standard de 0,42°C con un sesgo de 0,09°C.

Una de las fuentes de error más importante para la obtención de la temperatura superficial del mar, es la debida a la dispersión producida por grandes cantidades de aerosoles (Stowe y Fleming, 1980) que, en el área bajo estudio, es causada por el polvo proveniente del Sáhara, la llamada **calima**.

2.2. SENSOR CZCS

2.2.1. Descripción

El sensor experimental CZCS era uno de los sensores a bordo del satélite Nimbus-7 lanzado por la NASA en 1978.

La tabla 2 señala las características espectrales del CZCS.

La selección de sus cuatro primeras bandas espectrales, el ancho (20 nm) y la sensibilidad de éstas fueron escogidas para determinar el color del océano y la abundancia de fitoplancton por medio de la variación de la radiancia que sale del agua y, consecuentemente, tienen poco uso en tierra, ya que a menudo están saturadas. Es posible determinar el contenido de pigmento fitoplanctónico debido a que la radiancia espectral hacia arriba subsuperficial contiene información de los constituyentes del agua: el fitoplancton, que contiene el pigmento fotosintéticamente activo clorofila **a**, juega un papel dominante en los procesos de absorción y retrodispersión de la luz visible en el agua a longitudes específicas, excepto para regímenes oceánicos inusuales como áreas de descarga terrestre. Estas 4 bandas no pueden separar la clorofila **a** de los feopigmentos **a**, el producto de degradación de la clorofila **a**, debido a que ambos tienen espectros de absorción similares por lo que se usa el término pigmentos de tipo clorofílico para las estimaciones obtenidas con este sensor. Cada una de estas 4 bandas tiene 4 ganancias seleccionables que permiten tener en cuenta las variaciones del ángulo solar durante el año.

TABLA 2
Características espectrales del sensor CZCS

Banda	Centro (nm)	Ancho (nm)
1	443	20
2	520	20
3	550	20
4	670	20
5	750	100
6	11500	2000

2.2.2. Obtención de Mapas de Concentraciones de Pigmento de tipo Clorofílico

En el visible la atmósfera interacciona con la radiación que llega al sensor de forma mucho más fuerte que en el infrarrojo, de manera que alrededor del 80 por 100 de la señal medida por el sensor es contribución debida a la atmósfera. Para eliminar esta contribución hemos hecho uso de las simplificaciones e hipótesis introducidas por Gordon (Gordon, 1978), donde los procesos de dispersión que ocurren en la atmósfera se dividen en dos términos: uno debido a la dispersión Rayleigh por las moléculas de aire, y el otro debido a la dispersión por aerosoles. Se supone además, que la absorción en la capa de ozono es independiente de los procesos de dispersión pudiendo calcularse separadamente. Ambos términos de dispersión incluyen también la contribución debida a la reflexión de la luz en la superficie del mar debida al brillo del cielo exclusivamente, ya que el sensor está inclinado para evitar el brillo del sol. Por lo tanto:

$$L(\lambda) = L_R(\lambda) + L_A(\lambda) + T(\lambda, \theta) \cdot L_w(\lambda)$$

donde:

- $L(\lambda)$ = Es la radiancia medida por el sensor.
- $L_R(\lambda)$ = Es la radiancia debida a la dispersión Rayleigh en la atmósfera.
- $L_A(\lambda)$ = Es la radiancia debida a la dispersión por aerosoles en la atmósfera.
- $L_w(\lambda)$ = Es la radiancia emergente del agua, que es la que lleva información de los constituyentes que hay en el agua.
- $T(\lambda, \theta)$ = Es la transmitancia de la atmósfera en la dirección del sensor (θ es el ángulo cenital solar).

La radiancia debida a la dispersión Rayleigh puede calcularse con poco conocimiento a priori de la atmósfera. Gordon (Gordon, 1978) da expresiones explícitas para calcularla. Recientemente, Gordon, et al (Gordon, et al. 1988) han incluido en dichas expresiones los procesos de dispersión múltiple y polarización, y éstas son las que se han utilizado en este trabajo.

El término de transmitancia puede calcularse como transmitancia directa o, en el caso de CZCS, como transmitancia difusa para tomar en cuenta el hecho de que cuando el sensor está viendo un píxel dado, parte de la radiancia la recibe originada a partir de los píxeles vecinos dispersada hacia él por la atmósfera. Esto equivale a suponer que la superficie del mar se comporta como una superficie Lambertiana y que L_w no varía significativamente entre el IFOV y los píxeles más próximos, que hacen una pequeña contribución a $T(\lambda, \theta) \cdot L_w(\lambda)$.

La radiancia debida a la dispersión por aerosoles la hemos calculado según los estudios realizados por Gordon (Gordon, 1978) quien, bajo el supuesto de que la función de fase de la dispersión por aerosoles es independiente de la longitud de onda, encontró que la radiancia dispersada por el aerosol a una longitud de onda es proporcional a la radiancia dispersada por el aerosol a otra longitud de onda. Debido a que las Islas Canarias están situadas en las cercanías de un afloramiento, hemos utilizado la expresión obtenida por Austin, et al. (Austin y Petzold, 1981) en lugar de la obtenida por Gordon (Gordon et al. 1978), por ser la apropiada para aguas con concentración superior a 0,8 mg/m³ de fitoplancton, y el

método desarrollado de Bricaud et al. (Bricadu y Morel, 1987) en vez del concepto de radiancia de agua clara de Gordon et al. (Gordon y Clark 1981).

Con respecto a la pérdida de sensibilidad del sensor CZCS hemos aplicado la función de corrección obtenida por Sturm (Sturm, 1986), corregida por el mismo autor al considerar las nuevas mejoras en la corrección atmosférica.

Una vez hecha la corrección atmosférica, el algoritmo utilizado para estimar la concentración de pigmento de tipo clorofílico es el obtenido por Sturm (Sturm, no publicado):

$$C = (0,642 \times \frac{R(443)}{R(550)} + 0,891 \times \frac{R(520)}{R(550)} - 0,533)^{-2}$$

donde:

C = Es la concentración de pigmento de tipo clorofílico (mg/m³).

R(λ) = Es la reflectancia subsuperficial en la longitud de onda λ. (Ver, p.ej., Austin (Austin, 1974), para la relación entre L_v(λ) y R(λ)).

En este trabajo hemos intentado hallar la diferencia entre las concentraciones de pigmento obtenidas a partir de los datos del CZCS con las concentraciones obtenidas mediante medidas in situ. Para ello, contábamos con las medidas in situ de Hernández-León et al (Hernández-León y Miranda-Roda, 1987) y con 2 imágenes coincidentes. Desafortunadamente, estas medidas in situ fueron hechas o en regiones nubosas, o al este de las islas, donde el CZCS está saturado debido al tiempo de recuperación del sensor. En otros trabajos (ver, p. ej., Gordon et al. 1983) se ha estimado el error en un 30-40 por 100 para el rango 0,08 mg/m³ a 1,5 mg/m³.

Una vez obtenidos los parámetros geofísicos requeridos de ambos sensores, hemos empleado el método de **Puntos de Control de Tierra** para realizar la corrección geométrica con la que se consiguen mapas de temperatura superficial del mar y de concentración de pigmento de tipo clorofílico con los sensores AVHRR y CZCS, respectivamente.

3. DISCUSION Y CONCLUSIONES

Para hacer un estudio simultáneo de los parámetros geofísicos obtenidos por medio de los sensores AVHRR y CZCS, hemos tenido que recurrir a los datos GAC del AVHRR ya que la estación de Maspalomas, de donde proceden los datos del sensor CZCS, empezó a adquirir datos HRPT del sensor AVHRR en 1986, cuando el sensor CZCS dejó de operar. La otra estación que puede cubrir el área de las Islas Canarias, la de Lannion en Francia, sólo guardaba en aquella época sus archivos de datos durante un año.

En las figuras 1 y 2 se muestra una copia en color del mapa de concentraciones de pigmento de tipo clorofílico para el 5 de Diciembre de 1982 (órbita 20776), y el mapa de temperatura superficial del mar para el 6 de Diciembre de 1982. No existen datos de ambos sensores para el mismo día.

La idea inicial de este trabajo consistía en describir las características oceanográficas observadas en el Archipiélago Canario utilizando los datos de los sensores AVHRR y CZCS, pero al procesar dichos datos hemos comprobado que, a parte de los fenómenos propios del Archipiélago, el afloramiento ejerce una gran influencia en el mismo, por lo que las características oceanográficas encontradas en este trabajo las podemos dividir en tres apartados referentes a:

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

En los dos mapas mostrados podemos observar:

3.1. El Afloramiento del Noroeste de Africa junto a las Islas Canarias.

— En ambos mapas observamos que existe al Norte de Cabo Juby un afloramiento intenso y un filamento en dirección hacia el canal entre Lanzarote y Fuerteventura.

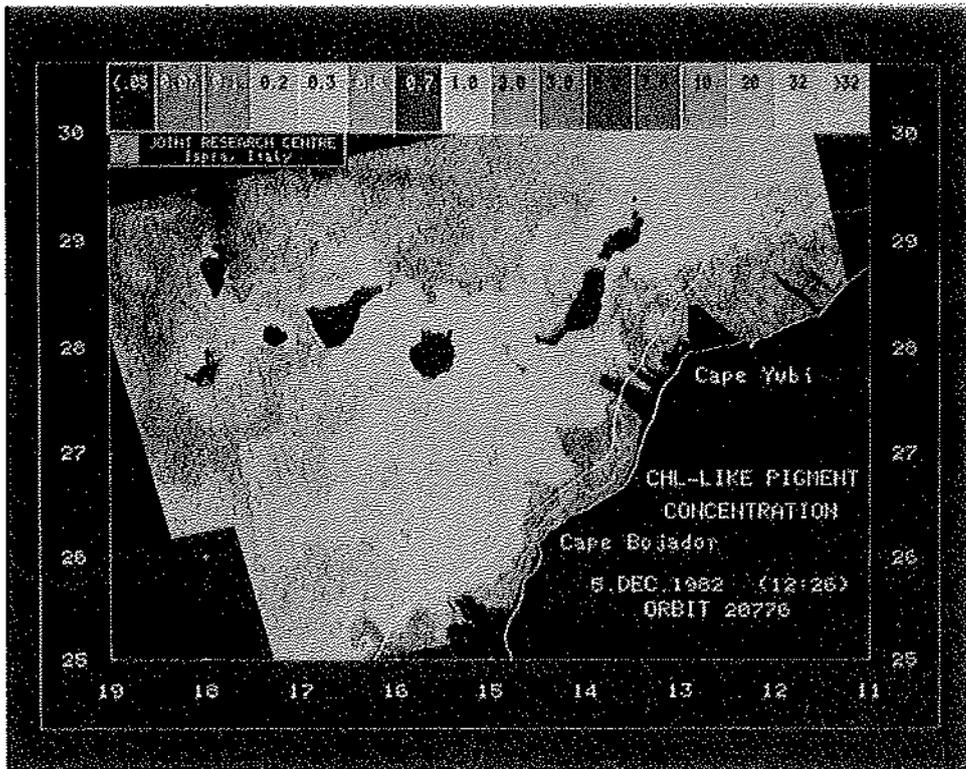


Figura 1.— Mapa de Concentración de Pigmento de tipo Clorofílico.

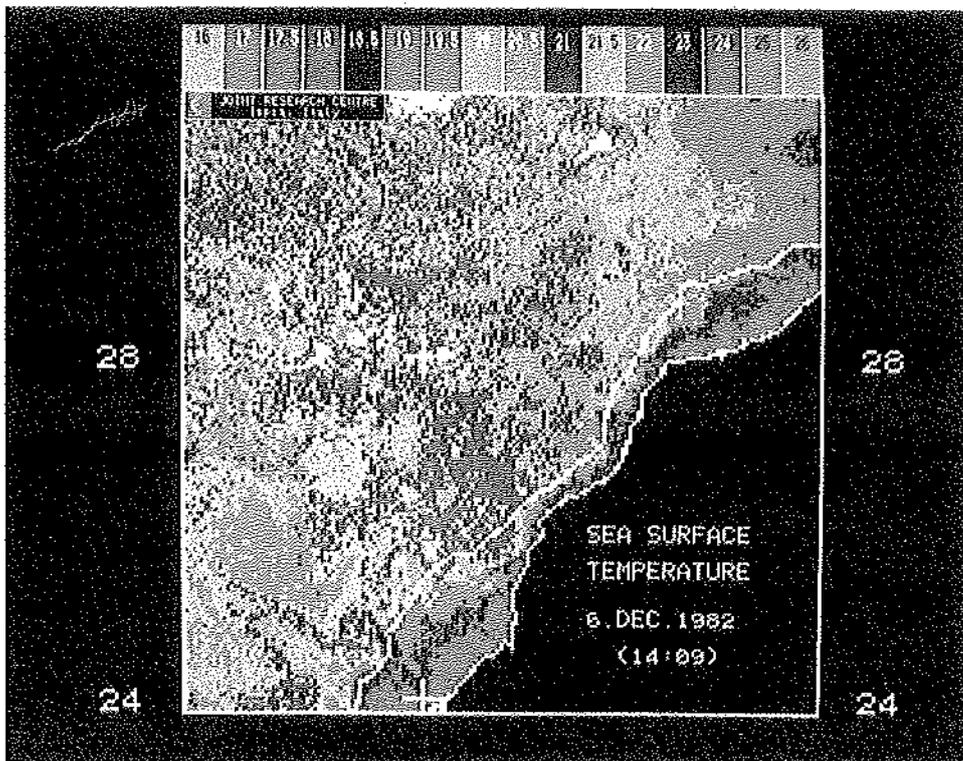


Figura 2.— Mapa de Temperatura Superficial del Mar.

- En Cabo Juby existe un filamento que va hacia el Norte y, posteriormente, hacia el Este.
- En Cabo Bojador se observa un doble vórtice aunque el eddy anticiclónico no se aprecia bien, observándose también otro doble vórtice de agua oligotrófica que está junto al mencionado.
- Al Sur de Cabo Bojador se observa un filamento que, aunque en la imagen mostrada no se observa de dónde proviene, es un filamento que está creado en Dakla.

3.2. La Repercusión del afloramiento en las Islas Canarias.

- Se observa el enriquecimiento al Este de Fuerteventura y Lanzarote y dos filamentos que llegan muy cerca de Fuerteventura, viéndose al Este de esta última isla dos eddies ciclónicos muy pequeños.
- Se observa una estructura de tipo interrogación en el canal que hay entre las islas de Lanzarote y Fuerteventura.
- Se observa el enriquecimiento entre Gran Canaria y el afloramiento que podría ser de un filamento anterior, pero con los datos de los que se dispone no se puede asegurar, y, a su vez, el mapa de temperatura superficial del mar también muestra agua fría en la misma zona de la imagen.

3.3. Las Características oceanográficas de las Islas Canarias independientes del afloramiento

- Con respecto a este apartado, lo primero que nos llama la atención es el eddy ciclónico que se observa al suroeste de Gran Canaria. Se observa claramente que este eddy es totalmente independiente del afloramiento. En un estudio más detallado de este eddy hemos observado que no ha cambiado de posición en los dos días mostrados, para ello hemos pasado previamente a la misma resolución espacial el mapa de concentraciones del pigmento de tipo clorofílico y el mapa de temperatura superficial del mar.
- Se observa, también, un filamento cuyo origen está en Agaete, en el Noroeste de Gran Canaria, y que forma un remolino ciclónico al Sureste de Tenerife.
- Nos encontramos, de igual forma, un filamento en el Oeste de Fuerteventura, otro en el Norte de Tenerife y otro en La Gomera que va dirigido hacia el Hierro.

4. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha podido realizar gracias al Proyecto de Investigación nº 71/02.06.87 de la Dirección General de Universidades e Investigación del Gobierno de Canarias. Gran parte del mismo se ha realizado en el Joint Research Centre de la C.E. en Ispra (Italia) y no habría sido posible sin la inestimable ayuda y colaboración de los Drs. Peter Schlittenhardt, Leo Nykjaer, Lieve Van Camp y José Peláez.

BIBLIOGRAFIA

- Austin, R.W. 1974. The remote sensing of spectral radiance from below the ocean surface. In **Optical aspects of oceanography**. N.G. Jerlov y N.E. Steemann (Eds.), Academic Press.
- Austin, R.W. and Petzold, T.J. 1980. The determination of the diffuse attenuation coefficient of sea water using the Coastal Zone Color Scanner. In **Oceanography from space**. J.R.F. Gower (Ed.), Plenum Press, New York.
- Bricaud, A. and Morel, A. 1987. Atmospheric corrections and interpretation of marine radiances in CZCS imagery: use of a reflectance model. **Ocean. Acta**. Spatial Oceanography Symposium, Brest, 19-20 November 1985, Proceedings, pp. 33-50.
- Castagné, N. et al., 1986. Operational measurements of sea surface temperatures at CMS Lannion from NOAA-7 AVHRR data. **Int. J. Rem. Sens.** 7: 953-984.
- Gordon, H.R. 1978. Removal of atmospheric effects from satellite imagery of the oceans. **Applied Optics** 17: 1.631-1.636.

- Gordon, H.R. and Clark, D.K. 1981. Clear water radiances for atmospheric corrections of Coastal Zone Color Scanner imagery. **Applied Optics** 20: 4.175-4.180.
- Gordon, H.R. et al. 1983. Phytoplankton pigment concentrations in the Middle Atlantic Bight: comparison of ship determinations and CZCS estimates. **Applied Optics** 22: 20-36.
- Gordon, H.R., Brown, J.W. and Evans, R.H. 1988. Exact Rayleigh scattering calculations for use with the Nimbus-7 Coastal Zone Color Scanner. **Applied Optics** 27: 862-871.
- Hempel, G. 1982 (Ed.). **The Canary Current: studies of an upwelling system**. Rapp. P.- v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer., vol. 180.
- Hernández-León, S. y Miranda-Rodal, D. 1987. Actividad del sistema de transporte de electrones y biomasa de mesozooplankton en aguas de las Islas Canarias. **Bol. Inst.Esp. Oceanogr.** 4: 49-62.
- Le Borgne, P., Le Vourch, J. and Marsouin, A. 1988. Sea surface parameters inferred from meteorological satellite data at CMS, Lannion, **Int J. Rem. Sens.** 9: 1819-1834.
- McMillin, L.M. 1975. Estimation of sea surface temperatures from two infrared windows measurements with different absorption. **J. Geophys. Res.** 80: 5.113-5.117.
- Molina, R. 1976. Consideraciones sobre la Corriente de Canarias. **II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica**, Comunicaciones, vol 3: pp. 1.567-1.588.
- NOAA 1986. NOAA polar orbiter data (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8, NOAA-9 and NOAA-10) users'guide, NOAA-NESDIS, National Climate Data Center, U.S. Dept. of Commerce (Washington D.C.), 148 pp. Compiled and edited by K.B. Kidwell.
- Stowe, L.L. and Fleming, H.E. 1980. The error in satellite retrieved temperature profiles due to the effects of atmospheric aerosol particles. **Rem. Sens. Envir.** 9: 57-64.
- Sturm, B. 1986. Correction of the sensor degradation of the Coastal Zone Color Scanner on Nimbus-7. In **Europe from space**, ESA SP-258, ESA/EARSel proceedings, Lyngby, Denmark, 25-28 June 1986.
- Van Camp, L. et al. (en prensa). Upwelling and boundary circulation off Northwest Africa as depicted by infrared and visible satellite observations. **Progress in Oceanography** .