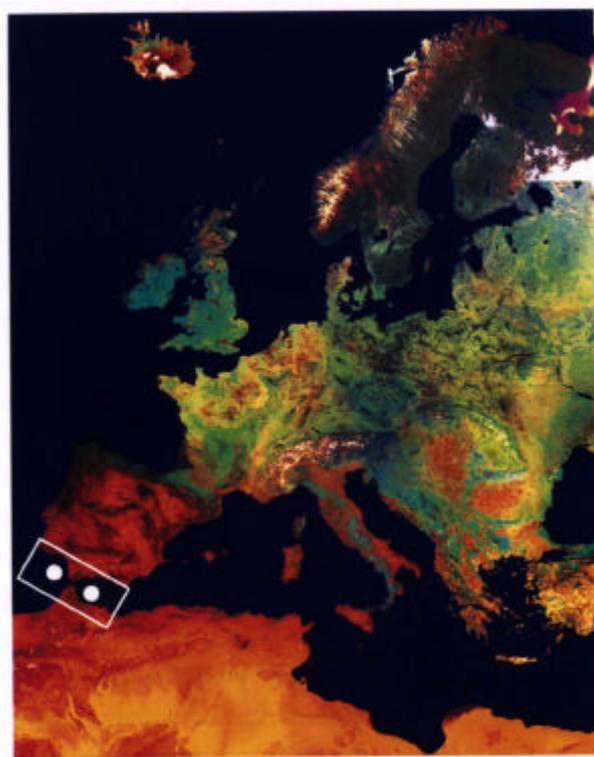


CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS AGUAS ATLÁNTICAS Y MEDITERRÁNEAS.

Las dos aplicaciones que se presentan a continuación pueden ofrecernos una idea de la idoneidad de los datos proporcionados por los satélites oceanográficos y de recursos naturales, al estudio del medio marino. Apoyándose en un caso (satélites de la serie NOAA), en la temperatura superficial del mar y, en el otro (satélites de la serie NIMBUS-7) en el "color" de las aguas marinas, es decir en la información proporcionada por la energía reflejada en el espectro visible, el tratamiento realizado sobre los datos originales proporcionados por estos satélites llenará de "contenido" los extensos y homogéneos espacios azulados a los que se suelen asociar las aguas marinas, permitiéndonos reconocer, a la escala adecuada para ello, algunos de los procesos y fenómenos más característicos de las aguas atlánticas y mediterráneas que constituyen el límite meridional nuestra región.



*Situación de las zonas analizadas
Imagen NOAA. © Remote Sensing Division Rae
Farnborough 1985.*

(1) - CARACTERÍSTICAS TERMICAS.

Dentro de las aplicaciones oceanográficas de la Teledetección, una de las más importantes es la medida de la temperatura superficial del mar, la cual permite la detección de varios fenómenos oceanográficos, como son corrientes, remolinos y frentes térmicos.

Hoy en día, el sensor más utilizado para esta aplicación es el AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), que es uno de los sensores a bordo de la serie de satélites operacionales NOAA (NOAA-6 a NOAA-12), administrados por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Este sensor, a través de sus bandas infrarrojas, está especialmente indicado para la medida de temperatura superficial del mar por su cobertura temporal (proporciona 4 imágenes diarias), su resolución espacial (1,1 Km al nadir), su alta sensibilidad radiométrica (detecta diferencias de temperatura de 0.1° K) y las características espectrales de sus bandas térmicas. En particular los satélites pares de esta serie tienen una banda en el infrarrojo térmico centrada en 11 μm, mientras que los satélites impares constan de dos bandas en el IR térmico centradas en 10,8 μm y 12 μm, lo que permite un cálculo más preciso de la temperatura superficial del mar incluso corregida del efecto perturbador de la atmósfera.

Con este sensor y concretamente con el AVHRR instalado en el NOAA-11, se han obtenido las imágenes, correspondientes a la zona del Golfo de Cádiz, Estrecho de Gibraltar y Mar de Alborán, que se describen en esta aplicación. Concretamente son imágenes tomadas en los meses de Junio (Figura 1.1), Julio (Figura 1.2) y Agosto (Figura 1.3) de 1990, y en ellas, aunque no han sido corregidas geoméricamente, por lo que presentan una importante distorsión debida a la curvatura de la Tierra, se pueden observar algunos fenómenos generales a todas ellas y otros que varían de unas fechas a otras y que dan idea de la evolución y comportamiento de las masas de agua de la zona.

Los fenómenos que se observan en todas las imágenes son los siguientes:

- En las costas del Alentejo y el Algarve portugués se observan unas aguas más frías que las contiguas del Golfo de Cádiz, (Figura 1.2). Se trata del "upwelling" o afloramiento Ibérico Occidental. Esta es una corriente atlántica ascendente que lleva a la superficie aguas profundas más frías y ricas en nutrientes. Este tipo de corrientes es común a las costas oeste de los continentes.

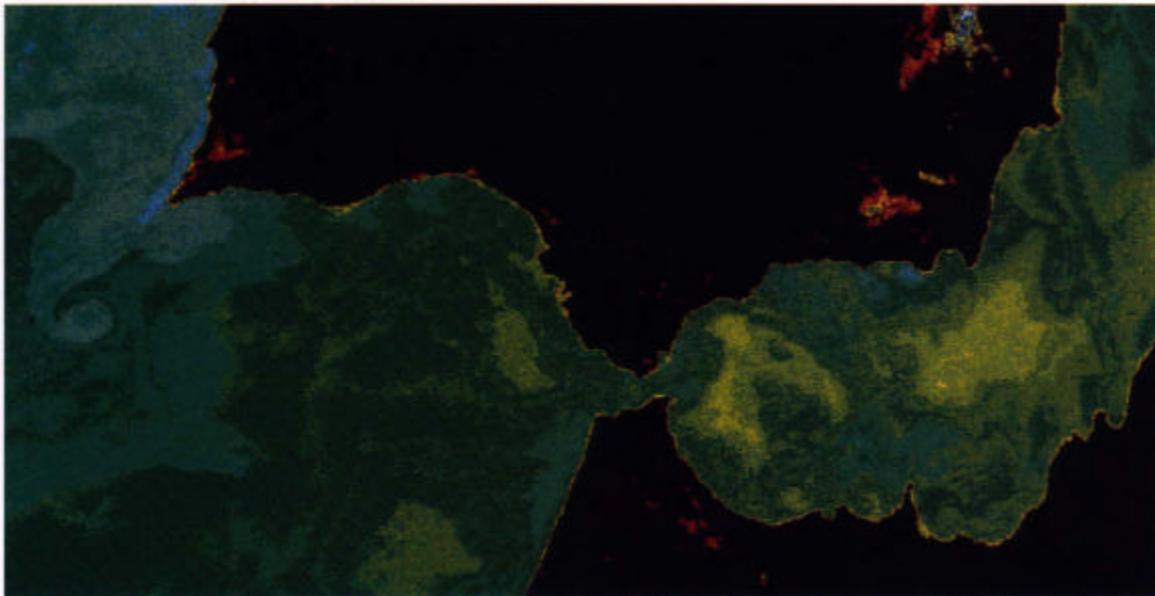


Figura 1.1: Imagen de satélite NOAA - 11 de fecha 7 de junio de 1990. Clasificación de temperatura (°C) superficial del mar a las 13 h. 45 min.
Equivalencias de temperatura (° C)

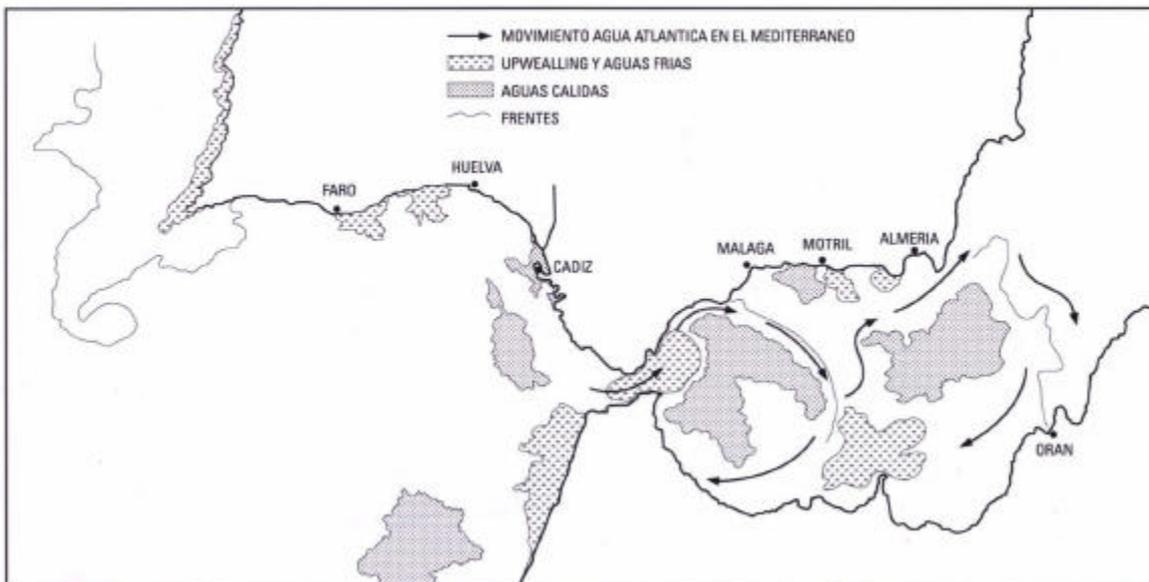
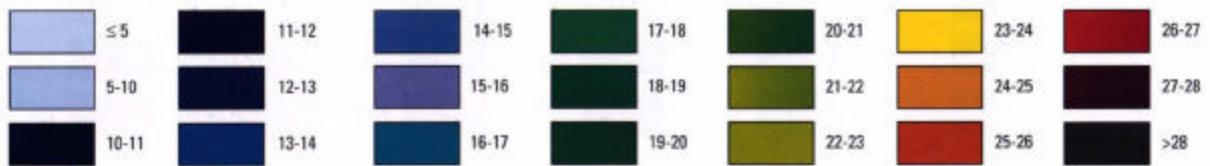


Figura 1.2.: Croquis de interpretación de la figura 1.1.

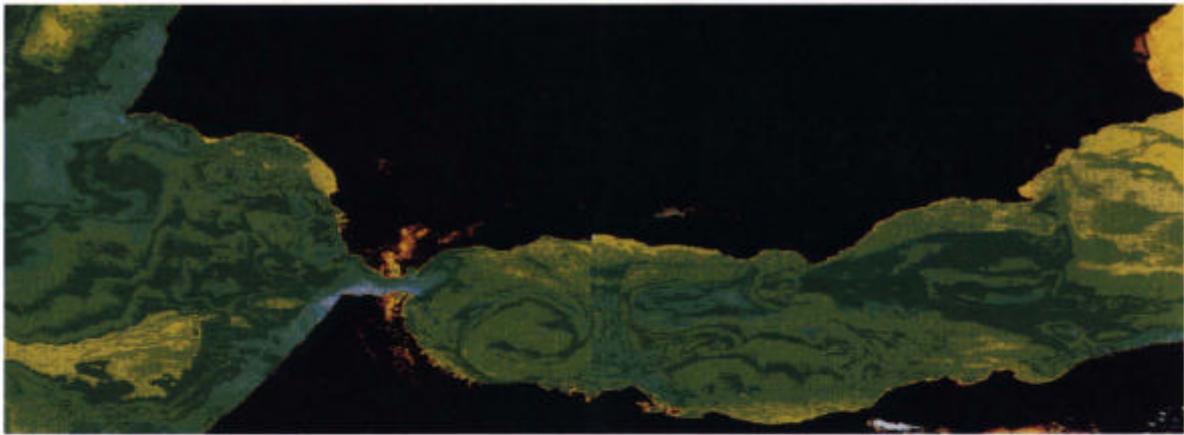


Figura 1.3.: Imagen de satélite NOAA-11 de fecha 18 de julio de 1990. Clasificación de temperatura (°C) superficial del mar a las 13 h. 45 min.

Equivalencias de temperatura (° C)

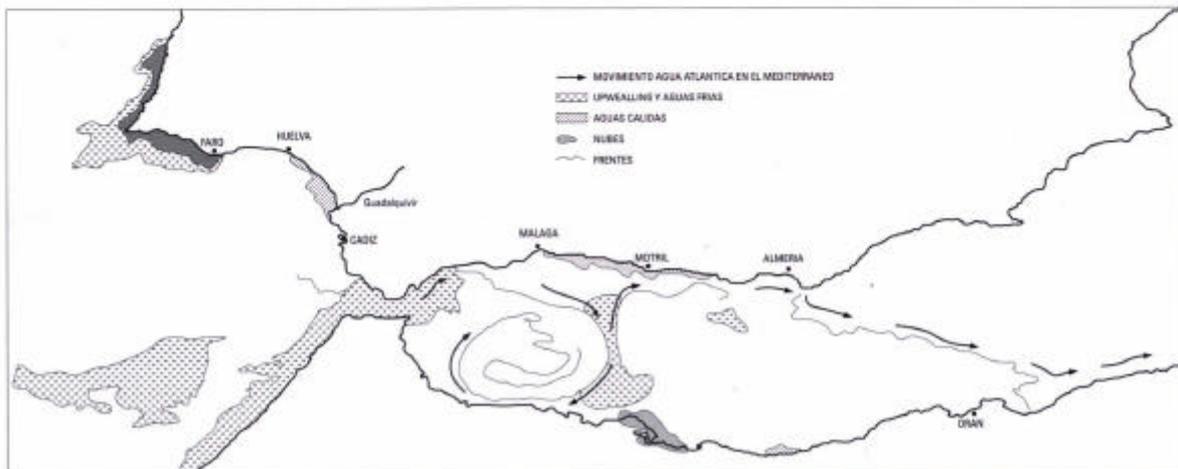
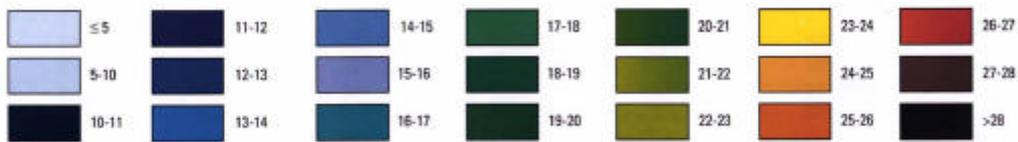


Figura 1.4.: Croquis de interpretación de la figura 1.3.

- Otro fenómeno de "upwelling" aparecen también en las tres imágenes estudiadas como extensión de agua más fría que las circundantes, en la costa marroquí. Este afloramiento del noroeste africano es bien conocido por su importancia como zona pesquera, especialmente de túnidos, (Figura 1.4).

- Otro proceso importante que se aprecia en todas las imágenes, es la penetración de agua Atlántica, más fría en esta época del año, en el Mediterráneo. Este agua es procedente de la rama meridional de la corriente del Atlántico Norte que envía una ramificación hacia el Mediterráneo a través del Estrecho. No observable por el satélite, existe una corriente en sentido contrario del Mediterráneo hacia el Atlántico a profundidades mucho mayores, debido a la mayor densidad del agua mediterránea. El comportamiento del agua atlántica, una vez en el Mar de Alborán, varía aparentemente, de unas fechas a otras. Sin embargo, es común a todas estas imágenes la presencia de un primer giro anticiclónico en la misma salida del Estrecho que genera una zona central de convergencia con aguas más cálidas (Figura 1.6).

- Por último, es común a todas las imágenes, la presencia de aguas cálidas en la zona costera entre Huelva y Cádiz en la desembocadura del Guadalquivir y en la zona de la costa de Granada. Esta última podría explicarse por la resurgencia de aguas subalveas en la zona litoral a lo que podría sumarse los aportes de los desagües del regadío de la zona de Motril. Por otra parte, la presencia de aguas frías en algunas zonas de la misma costa estaría relacionada con un "upwelling" local provocado por un viento de tierra que, al llevar las aguas superficiales hacia el interior del mar, generaría una corriente ascendente, caso del "Terral" en Málaga.

De la observación consecutiva de las tres imágenes se puede apreciar, además, el progresivo calentamiento de la zona a medida que avanza el verano, pasando desde unas aguas más frías en el mes de Junio a aguas cálidas en Agosto.

En las imágenes de Junio y Julio se aprecia además un segundo giro anticiclónico en Alborán cuyo límite más oriental sería el conocido frente Almería-Orán que presenta un importante gradiente térmico, estando las temperaturas más cálidas hacia el Mar de Alborán. En la imagen de Agosto este giro aparentemente ha desaparecido. Sin embargo, podría estar enmascarado por el calentamiento superficial del agua que aparece como zonas en rojo en el Mar de Alborán. Este fenómeno, conocido como termoclina diurna, se presenta en condiciones de viento en calma y fuerte irradiación solar y es muy común en las imágenes de mediodía en verano.

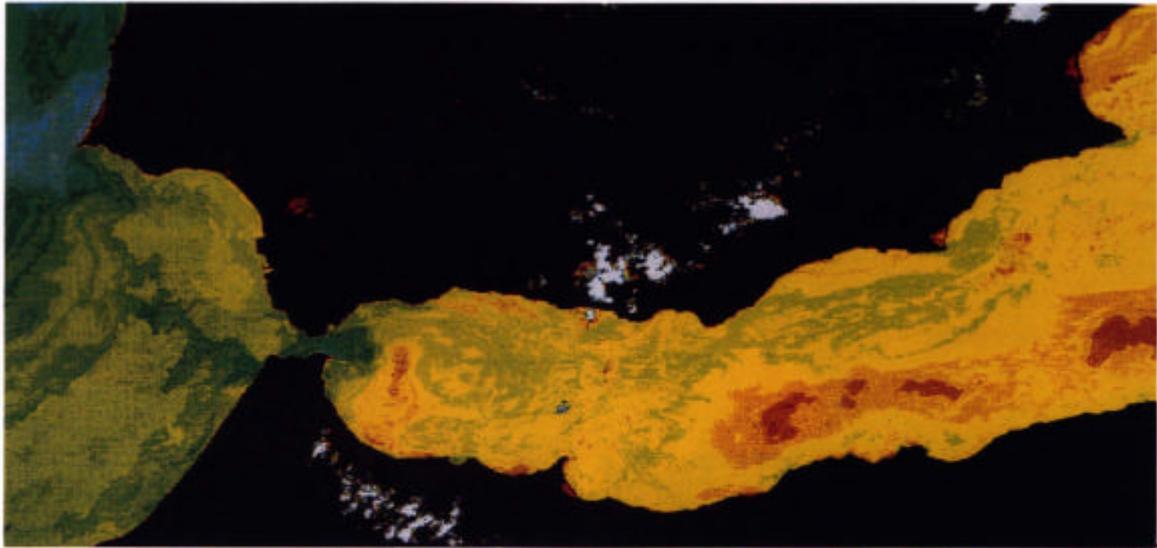


Figura 1.5.: Imagen de satélite NOAA de fecha 6 de Agosto de 1990. Clasificación de temperatura (°C) superficial del mar a las 13 h. 45 min.

Equivalencias de temperatura (° C)

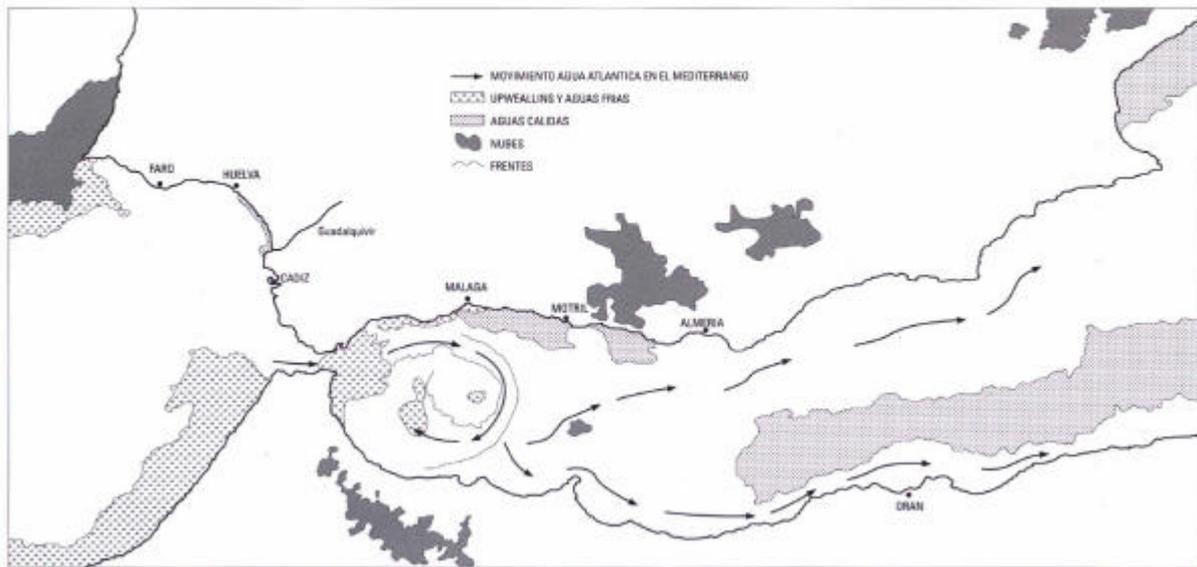
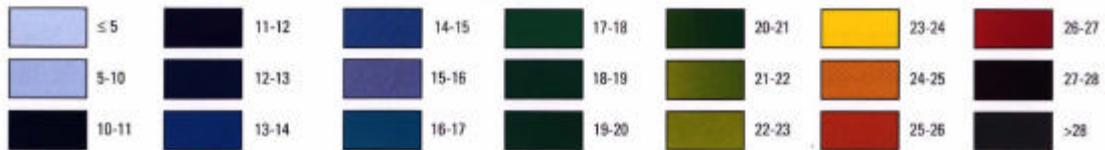


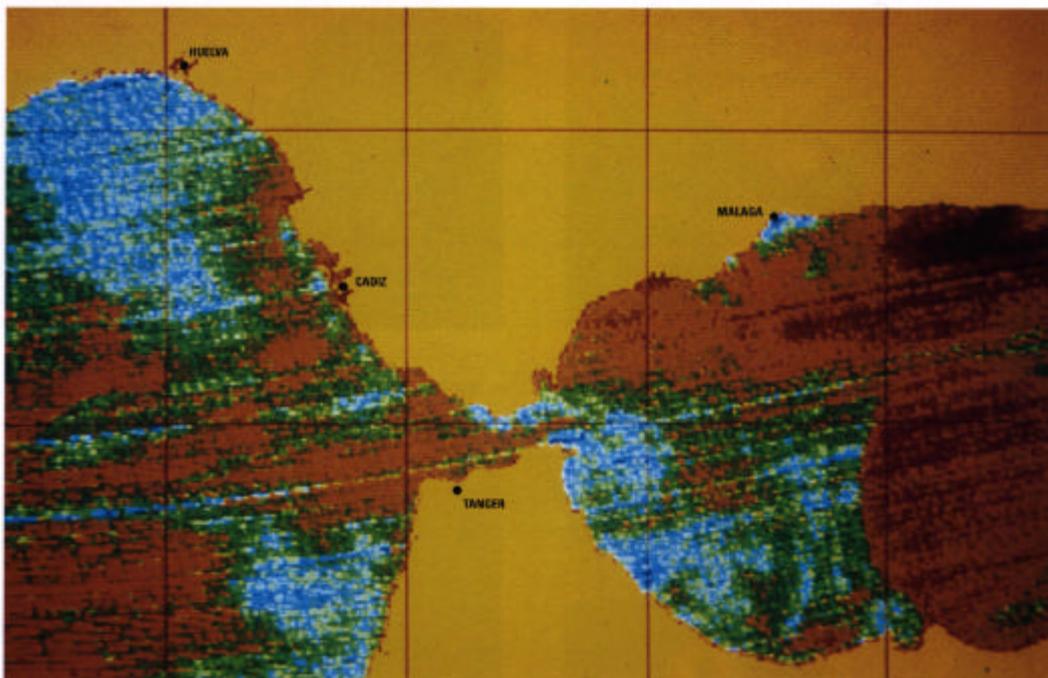
Figura 1.6.: Croquis de interpretación de la figura 1.5.

El AVHRR no es el único sensor que permite medir temperatura superficial del mar aunque si es el único operativo en la actualidad. Entre 1978 y 1986 estuvo en funcionamiento el sensor CZCS (Coastal Zone Color Scanner) a bordo del satélite NIMBUS-7 lanzado por la NASA (National Aeronautics and Space Administration). Este sensor, cuyas imágenes son estudiadas aún

hoy en día, tenía una resolución espacial de 0,8 Km en el nadir y una sensibilidad radiométrica de hasta 0,2° K en la banda infrarroja centrada en 11,5 μ m.

La imagen de Septiembre de 1983, mostrada en este capítulo (Figura 1.7) ha sido obtenida con este sensor y en ella se observan varios de los fenómenos ya citados en el estudio de las imágenes NOAA. Aún cuando el criterio de colores es distinto al tomado en las otras imágenes, se puede fácilmente interpretar la información que ofrece. De nuevo, se pueden observar en esta imagen los afloramientos de aguas frías de las costas marroquí y portuguesa, ahora extendido hacia la Costa de Huelva, la entrada de agua fría del Atlántico en el Mediterráneo, el giro de Alborán, las zonas cálidas de las costas de Cádiz y especialmente Granada y una estrecha franja de aguas frías en la costa de Málaga. En este último caso, podría tratarse de un upwelling local, debido a la presencia de vientos "terrales".

Un último sensor para el estudio de la temperatura superficial del mar ha sido instalado a bordo del satélite ERS-1, el nuevo satélite puesto en órbita por la Agencia Espacial Europea a mediados de Julio de 1991. Se trata del ATRS-M (Along Track Scanning Radiometer and Microwave Sounder). Este sensor con dos bandas en el infrarrojo térmico centradas en 11 y 12 μ m, resolución espacial de 1 Km y resolución radiométrica de 0,1° K permitirá la obtención de imágenes de todo el mar andaluz desde la estación espacial de Maspalomas en Gran Canaria.



*Figura 1.7.: Imagen de satélite NIMBUS-7 de fecha 17 de septiembre de 1983.
Clasificación de temperatura radiométrica.*

(2) - DIFERENCIAS EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS MEDITERRÁNEAS Y ATLÁNTICAS.

El litoral andaluz comprende tres sectores diferenciados. La costa atlántica bañada por las aguas del Golfo de Cádiz, baja, mesomareal, de tipo aluvial y caracterizada por formaciones arenosas que aíslan marismas y estuarios en proceso de colmatación; una zona central ligada al Estrecho de Gibraltar, donde se produce una disminución progresiva del rango de mareas, presentando características morfodinámicas específicas y, por último, un sector oriental bañado por el Mediterráneo, definido morfológicamente por formaciones montañosas próximas a la línea de costa que favorecen la presencia de acantilados alternando con deltas de variada magnitud y caracterizado hidrológicamente por un rango de marea casi imperceptible.

La naturaleza de estas costas condiciona, en gran medida, la propia calidad de las aguas superficiales del Atlántico y del mar de Alborán, como lo subraya esta crónica de 4 imágenes del sensor CZCS (Figuras 2.1, 2.2., 2.3 y 2.4) adquiridas en Septiembre de 1983 (con algunos problemas de nubosidad sobre el mar de Alborán en las escenas de los días 6 y 21). Este sensor, embarcado en el satélite NIMBUS-7, fué operacional, como ya hemos mencionado, hasta 1984 y había sido especialmente diseñado para realizar medidas sobre el "color" del mar y la temperatura. Para ello el sensor CZCS (Coastal Zone Colour Scanner) recopilaba información en cinco bandas correspondientes al espectro óptico y una al infrarrojo térmico. Las imágenes aquí recogidas corresponden a una clasificación de la reflectancia de las aguas en la banda 3 centrada en la longitud de onda de 0,55 μm y, permiten estudiar la distribución de las materias en suspensión y del fitoplacton. Si tomamos como ejemplo la imagen del 17-9-83, podemos observar una extensa estructura de aguas turbias en la costa atlántica, entre el río Guadiana y el cabo de Trafalgar, que se explica por los procesos erosivos y sedimentarios que sufre la costa onubense y el sector noroccidental de la de Cádiz, caracterizadas ambas por la presencia de materiales muy frágiles, por recibir los aportes minerales y orgánicos de los ríos que en ellas desembocan (Guadiana, Tinto-Odiel, Guadalquivir...) y estar afectadas por la acción de una potente deriva neta hacia levante que dinamiza todo este sector. Las plumas de turbidez de los principales ríos adoptan en detalle diferentes direcciones, mayoritariamente hacia poniente, aunque también en algunas de ellas, hacia Levante, ligadas siempre a las condiciones hidroclimáticas reinantes.

En todas las imágenes, el cabo de Trafalgar aparece como el límite meridional de estas estructuras de turbidez, marcando la entrada occidental a la zona del Estrecho que, al caracterizarse por una plataforma continental más estrecha y por la presencia de costas rocosas, presenta una considerable menor cantidad de sólidos en suspensión movilizados por las corrientes litorales; en consecuencia, las aguas litorales del Estrecho aparecen más claras que las de la costa atlántica

andaluza. Los débiles niveles de turbidez de las aguas costeras mediterráneas se justifican igualmente por las características morfodinámicas antes apuntadas y por la presencia de una plataforma continental también sensiblemente más estrecha que la atlántica.

Por último, en el Mar de Alborán podemos apreciar con nitidez (imágenes del 11 y 17 de septiembre) una clara estructura semicircular, alargada en sentido norte-sur y ubicada en la franja occidental del remolino térmico y del Mar de Alborán que describimos en una experiencia anterior. En la longitud de onda utilizada para elaborar esta imagen, la fuerte reflectancia de este sector, tan alejado de la franja costera, se asocia a la presencia de un "bloom plactónico" motivado por el ascenso de aguas profundas cargadas de nutrientes en las franjas externas de este remolino, propiciando una potente producción primaria de fitoplacton.

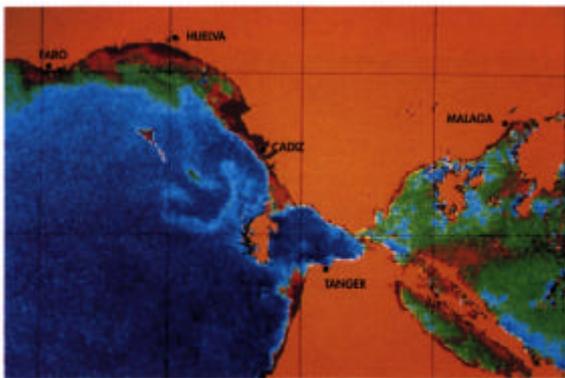


Figura 2.1.: Imagen de satélite NIMBUS-7 de fecha 6 de septiembre de 1983. Clasificación hipercuba mediante

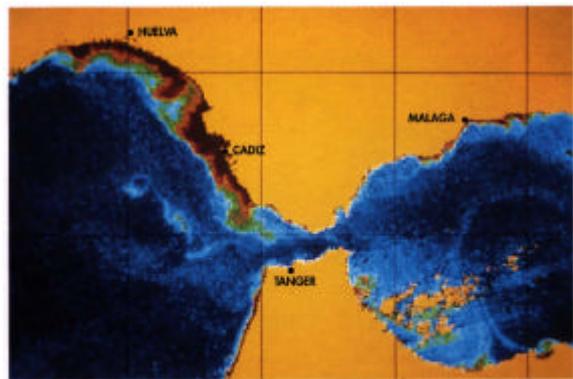


Figura 2.2.: Imagen de satélite NIMBUS-7 de fecha 11 de septiembre de 1983. Clasificación hipercuba mediante



Figura 2.3.: Imagen de satélite NIMBUS-7 de fecha 17 de septiembre de 1983. Clasificación hipercuba mediante canales 5 y 3. Partículas en suspensión.



Figura 2.4.: Imagen de satélite NIMBUS-7 de fecha 21 de septiembre de 1983. Clasificación hipercuba mediante canales 5 y 3. Partículas en suspensión.