

Programa de seguimiento de la calidad y dinámica del espacio marino y litoral a través de imágenes de satélite. (Andalucía. Agencia de Medio Ambiente)

J. Ojeda Zujar¹, A. Fernández-Palacios Carmona², J.M. Moreira Madueño y E. Sánchez Rodríguez¹.

¹Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Universidad de Sevilla.

²Servicio de Evaluación de Recursos Naturales. Agencia de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

RESUMEN

La AMA de Andalucía, desde su constitución en 1984, ha llevado a cabo muchos trabajos sobre las aguas litorales andaluzas, en muchos casos utilizando la Teledetección espacial como instrumento de análisis, con buenos resultados en diferentes problemáticas (dinámica litoral, contaminación...). Por ello en 1991 se puso en marcha el "Programa de seguimiento de la calidad y dinámica de las aguas litorales de Andalucía", para sistematizar y racionalizar estas experiencias pioneras. Aquí se presentan sus objetivos y líneas directrices, así como resultados globales de las aplicaciones que se desarrollan en este contexto.

PALABRAS CLAVE: Aguas litorales, teledetección, programa de seguimiento.

ABSTRACT

Since the AMA was established in 1984, many studies about the coastal waters have been carried out, many times using Remote Sensing techniques which have proved to give satisfactory results in different subjects (coastal dynamics, pollution ...). In 1991 the "monitoring program of the quality and dynamics of the marine waters and coastal zone in andalucia" was started, aiming to rationalize and systematize the previous experiences. Here, the objectives and general results of the applications developed in this context are presented.

KEY WORDS: Coastal waters, remote sensing, monitoring program.

INTRODUCCION

La Agencia de Medio Ambiente, desde su creación, ha dedicado una preocupación especial al espacio marino y litoral. Y ello por varias razones:

i) El medio marino es un espacio aún escasamente conocido, aunque cada día se revela como un ámbito geográfico del mayor interés tanto medio ambiental como económico.

ii) El espacio litoral, la zona de contacto entre el medio continental y el marino, se caracteriza por su complejidad y fragilidad ecológica, a la vez que se encuentra sujeto a grandes tensiones debido a la intensa presión antrópica que soporta como espacio por el que compiten un elevado número de actividades económicas, tanto tradicionales (pesqueras, portuarias, salinas..) como de reciente implantación (turismo, acuicultura, nuevas agriculturas..).

En general, se trata de espacios peculiares debido a la influencia de la naturaleza fluida de las aguas, lo cual les confiere un elevado dinamismo que dificulta enormemente su análisis y estudio. En este sentido, las técnicas de información y análisis tradicionales (generalmente secuenciales en el tiempo y con carácter puntual desde la perspectiva espacial) encuentran un eficaz aliado en las

técnicas de teledetección espacial al aprovechar su carácter sinóptico y su elevada resolución temporal y espectral.

Estas peculiaridades de la teledetección espacial hicieron que desde un primer momento la Agencia de Medio Ambiente iniciara diferentes aplicaciones sobre problemáticas medioambientales en estos medio(corrientes litorales, contaminación ...), utilizando estas técnicas con carácter complementario. Los positivos resultados de estas primeras y pioneras iniciativas (Ojeda Zújar, 1988, Ojeda y Moreira, 1987) llevaron finalmente a poner en marcha un "programa de seguimiento de la calidad y dinámica del espacio marino y litoral" en el que colaboran diversos centros universitarios y de investigación (Departamentos de Geografía Física, de Microelectrónica e Informática y de Química Analítica de la Universidad de Sevilla, o el Instituto Español de Oceanografía, por ejemplo) y que presenta como finalidad básica la sistematización de estas primeras experiencias y la creación de un marco coherente para los desarrollos futuros.

OBJETIVOS DEL PROGRAMA

La puesta en marcha de este "programa" se justifica, como ya hemos apuntado, por la necesidad de sistematizar y coordinar las

sistematizar y coordinar las experiencias iniciadas con anterioridad. De igual forma, con este carácter de programa se intenta dar una proyección, a medio/largo plazo, a una línea de trabajo e investigación que, hasta entonces, no había sido mas que la mera acumulación de aplicaciones concretas y específicas. Desde esta óptica, los objetivos del programa (Fig. 1) se podrían sintetizar en tres grandes apartados:



existencia de una "biblioteca de imágenes" sobre el espacio marino y litoral andaluz bastante completa, la cual se ha ido renovando y actualizando durante los últimos años de forma sistemática.

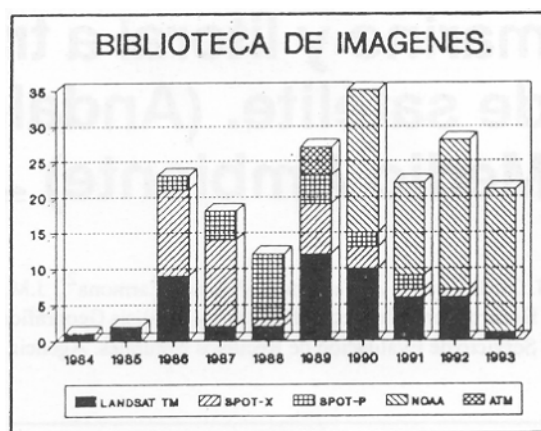


Fig. 2.- Biblioteca de imágenes de la AMA

i) Creación, estructuración y permanente actualización de una biblioteca de imágenes sobre, el medio marino/litoral que proporcionase una cobertura coherente y sistemática de este singular "espacio geográfico" que limita y/o rodea la región andaluza. El interés de la misma, dada la escasez de información sobre estos medios, es obvio.

ii) Llevar a cabo sobre cada una de las imágenes un conjunto de tratamientos primarios y recopilar la información básica para su interpretación. Como resultado de esta fase de trabajo se conseguiría un documento gráfico, el Atlas de imágenes del medio marino/litoral, y un conjunto de bases de datos alfanuméricas y gráficas con la información complementaria. Todo ello debería permitir la selección de las imágenes mas adecuadas para cada aplicación temática, orientar las nuevas adquisiciones de imágenes y facilitar una primera y rápida interpretación de las características hidrodinámicas de espacio representado.

iii) Estructurar, coordinar y planificar las aplicaciones temáticas a desarrollar, centradas en la caracterización hidrodinámica de estos espacios, en el seguimiento de determinados parámetros de calidad ambiental y en la evaluación de riesgos que puedan deteriorar los recursos naturales que sustentan.

En esta comunicación nos centraremos, en mayor medida, en los dos primeros apartados, ya que parte de las aplicaciones temáticas serán objeto de comunicaciones específicas.

LA BIBLIOTECA DE IMÁGENES

El especial interés mostrado por la Agencia de Medio Ambiente hacia el espacio marino y litoral ha hecho que, su política de adquisición de imágenes haya prestado una especial dedicación a estos espacios. Fruto de esta política y prioridades es la

Como puede observarse en la Fig. 2 las imágenes adquiridas representan, en la actualidad, un completo recubrimiento espacial del espacio marino y litoral que rodea a nuestra región, moviéndonos desde escalas regionales (satélites NOAA, NIMBUS...) a las locales o subregionales (satélites LANDSAT, SPOT, ERS...) e incluso con incursiones puntuales a escalas de mayor detalle (ATM).

Desde la perspectiva temporal en esta biblioteca de imágenes se poseen datos desde 1984 hasta la actualidad, aunque con un grado de recubrimiento muy desigual. En este sentido, es de destacar el esfuerzo realizado durante los últimos años para adquirir, como mínimo, un recubrimiento total de la región a escala local o subregional (SPOT o LANDSAT) cada año. Estrategia de adquisiciones que se espera mantener en el futuro.

Por todo ello, esta biblioteca constituye, sin duda, una de las bases de datos más completa sobre el espacio marino y litoral andaluz. Con ello, se cuenta con una sólida base de partida para cualquier aplicación temática futura, independientemente de cuales sean sus necesidades espectrales, la dimensión temporal o el ámbito geográfico a estudiar dentro de nuestra región.

TRATAMIENTOS PRIMARIOS E INFORMACION COMPLEMENTARIA

Las dificultades inherentes a la utilización directa de la biblioteca de imágenes (necesidad de software y hardware específico, formación técnica especializada...) y el deseo de rentabilizar al máximo la información implícitamente contenida en la biblioteca de imágenes llevaron, como segundo paso en el desarrollo del "programa", a la puesta en marcha de una fase de trabajo que debería cumplir varios requisitos:

i) Favorecer el acceso a potenciales usuarios no especialistas en tratamiento de imágenes, así como ayudar en el proceso de selección de las imágenes más adecuadas para cada aplicación específica.

ii) Proporcionar un documento gráfico, el Atlas de imágenes del medio litoral y marino, cuyo análisis visual permitiese realizar una primera aproximación a las características hidrodinámicas de cada imagen o a algunos parámetros físico-químicos de las aguas litorales y marinas.

iii) En función de lo anterior, orientar en el futuro la política de adquisiciones de nuevas imágenes con la intención de conseguir la máxima representatividad de las imágenes.

Para cumplir con estos requisitos se llevaron a cabo dos procesos de trabajo complementarios:

- Realizar un sencillo "**pretratamiento**" a los datos originales (software AMATEL) con la idea de conseguir un documento gráfico analógico que constituyese la base del Atlas.
- Crear un conjunto de "bases de datos complementarias" y georreferenciadas (formato ARC-Info) que facilitasen la información básica de apoyo a los procesos de interpretación. Adicionalmente el tratamiento de estas bases de datos permite orientar un proceso de selección coherente para la futura política de adquisiciones.

Pretratamiento

El pretratamiento aplicado a todas las imágenes (NOAA, TM, SPOT o ATM) se divide en dos fases principales: i) normalización y ii) clasificación. El proceso de normalización pretende principalmente, hacer totalmente comparables las diferentes imágenes, corrigiendo en la medida de lo posible los efectos causados por las diferencias en el ángulo solar y en las condiciones atmosféricas en el momento de adquisición de la imagen. Esta fase, si bien no es estrictamente necesaria cuando se pretenden analizar los resultados desde un punto de vista cualitativo (suficiente para el análisis dinámico), es fundamental cuando se pretenden derivar resultados cuantitativos, y es recomendable cuando el estudio tiene una dimensión esencialmente multitemporal, aunque no pretenda un análisis cuantitativo.

Con la clasificación se pretenden delimitar zonas de temperatura o turbidez homogéneas para analizar su comportamiento espacial, ya que estos son parámetros integradores que reflejan el comportamiento dinámico de la masa de agua en las condiciones sinópticas en que se adquirió la imagen y permiten establecer una primera aproximación a una modelización empírica del comportamiento de las aguas superficiales costeras.

Dado que los procesos de normalización y de clasificación se realizan en la práctica de forma

diferente para el estudio de la turbidez y de la temperatura superficial, en función de las características de los sensores, se desarrollará de forma sintética y separada la secuencia de tratamiento para cada una de ellas.

Turbidez

Para la normalización se ha utilizado el método desarrollado por López García y Caselles (1987) en Valencia que, partiendo de zonas de reflectividad constante en las dos imágenes a normalizar (agua, asfalto, arena, etc...), deriva la ecuación que relaciona sus valores en las dos fechas. Dicha ecuación queda finalmente de la forma siguiente.

$$DN_2 = a * DN_1 + b$$

Al aplicar esta ecuación a la imagen a corregir se consiguen los valores digitales que ésta tendría si se hubiera tomado en las mismas condiciones atmosféricas y de iluminación que la imagen tomada como referencia.

En este caso, como todas las imágenes son de la zona litoral, las zonas de reflectividad constante elegidas han sido siempre agua y arena. Los datos de agua se han obtenido siempre, lo más lejos de la costa posible, donde se supone que la cantidad de materia en suspensión que pueda alterar la respuesta espectral del agua es mínima. Los datos de arena se han intentado tomar siempre en zonas que se sabe que no presentan vegetación.

Entre los métodos disponibles para la normalización de las imágenes se ha elegido éste por su fácil aplicación ya que depende sólo de las condiciones de la imagen y no es necesario disponer de ningún dato externo a la misma.

Las imágenes así normalizadas se han sometido a una clasificación hipercubica con dos bandas, una infrarrojo y una visible. El primer paso consiste en subdividir la nube de puntos original en dos primeras grandes clases: "continente" y "agua", mediante el establecimiento de un umbral en el canal infrarrojo (TM 5, SPOT-HRV 3 ó ATM 9), dada su casi total absorción por el agua. A continuación se segmenta la población de píxeles pertenecientes a la clase "agua" sobre los valores del canal visible en cuestión. Normalmente la banda visible se segmenta de manera que cada valor digital constituya una sola clase, aunque en los casos en que su frecuencia es muy baja se han unido dos valores digitales en la misma clase para que el color que la representa tenga suficiente significación espacial.

Temperatura

El primer paso en la generación de imágenes de temperatura del medio marino es la corrección orbital de las imágenes, ya que éstas presentan importantes deformaciones. Se ha realizado a partir de un programa elaborado por el Departamento de Física Aplicada I de la Universidad de Valladolid, ampliamente modificado para su uso con imágenes procedentes de otras fuentes (Maspalomas,

Dundee...), para adaptarlo al hardware existente en la AMA e integrarlo en el paquete de programas para el tratamiento de imágenes AMATEL, así como para conseguir la máxima precisión en la zona geográfica de interés (Andalucía).

En las imágenes NOAA utilizadas para el estudio de la temperatura superficial del mar, el proceso de normalización está incluido en el mismo proceso de cálculo de las temperaturas porque elimina la influencia atmosférica y da ya directamente las temperaturas reales independientemente de las condiciones de toma de la imagen.

El cálculo de las temperaturas se realiza a través de un algoritmo de tipo "split window" que calcula la temperatura superficial del mar a partir de las temperaturas de brillo de las bandas 4 y 5. Las temperaturas de brillo se calculan a partir de los valores de radiancia de la banda en cuestión, mediante el inverso de la ley de Planck, y la temperatura superficial mediante una fórmula del tipo:

$$T = A * (T4) + B * (T5) + C$$

Este tipo de algoritmos se basa en la disponibilidad de dos bandas térmicas, lo cual permite corregir los efectos de la absorción atmosférica causada por el vapor de agua, que es constante a lo largo del espectro.

La clasificación consiste simplemente en segmentar los valores de temperatura en las clases adecuadas, normalmente en intervalos de 0'5 grados centígrados, y en asignar un color a cada una de las clases resultantes. A las temperaturas más bajas se les suele asignar el color blanco porque

normalmente corresponden a nubes.

En las imágenes de temperatura el tratamiento incluye un nuevo proceso, que consiste en la superposición de una máscara a la tierra, ya que el algoritmo aplicado no es válido para el cálculo de las temperaturas terrestres porque no tiene en cuenta la emisividad, que en el mar es constante. (En las imágenes de verano no es necesario aplicar la máscara porque la tierra se delimita fácilmente estableciendo un umbral de temperaturas, ya que está mucho más caliente que el agua en las imágenes diurnas).

Finalmente, para facilitar el acceso a esta información a usuarios no especialistas en el tratamiento digital de imágenes y, a la vez, garantizar una correcta interpretación visual, el proceso de normalización se ha llevado igualmente a los documentos analógicos que constituirán el atlas ya mencionado. Con ello se consigue que cada nivel de turbidez o temperatura aparezca en todas las imágenes, cualquiera que sea su fecha y condiciones hidroclimáticas, con el mismo nivel o tono de color (Fig. 3 y 4). De esta forma se obtienen documentos gráficos homogéneos que permiten una correcta interpretación multitemporal.

BASES DE DATOS COMPLEMENTARIAS

Sobre los documentos gráficos anteriores, y tras el proceso de "pretratamiento" ya comentado, es posible llevar a cabo una primera aproximación a la interpretación de las características hidrodinámicas o del comportamiento espacial de algunos parámetros representativos de la calidad ambiental de las aguas litorales y marinas (temperatura y turbidez). Sin embargo, la adecuada interpretación visual de estos documentos gráficos, incluso en este primer nivel de aproximación, pasa por disponer de una información adicional tanto de los factores y condicionantes hidroclimáticos (marea, oleaje, viento, presión ...) como de las actividades e intervenciones antrópicas que puedan incidir significativamente en la calidad de estas aguas o en su comportamiento dinámico. Para ello, se han diseñado tres bases de datos que sintéticamente describirnos a continuación:

Base de datos. sobre las características hidroclimáticas

Cada imagen lleva asociada una base de datos con las características hidroclimáticas más relevantes en el momento de su adquisición (marea, presión, oleaje, viento, nubosidad, visibilidad, precipitaciones...). Esta base de datos es esencial en el proceso de interpretación de las características hidrodinámicas de la imagen: (i) Las condiciones de marea (fase, altura, coeficiente...) y viento (dirección, intensidad, persistencia...) facilitan la interpretación de las estructuras térmicas o de

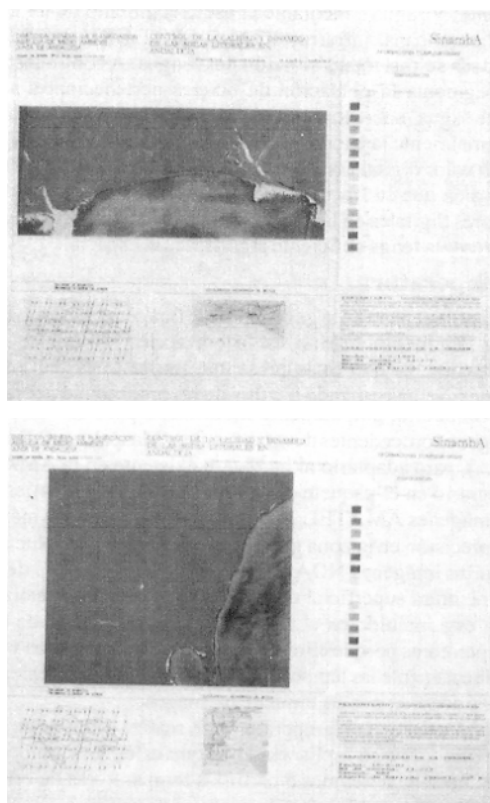


Fig. 3 y 4.- Fichas del Atlas de imágenes del medio marino/litoral.

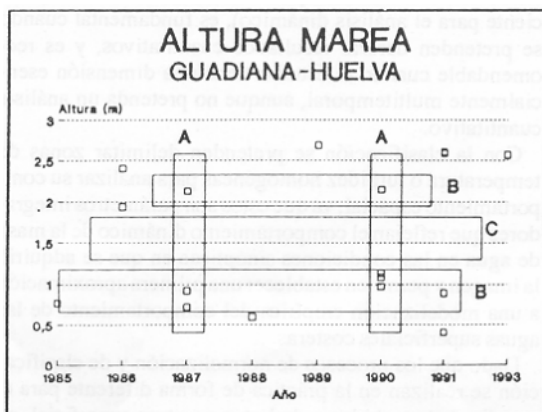


Fig. 5.- A: Selección de imágenes para caracterizar altimétricamente en el intramareal. B: Para analizar la evolución de la línea de costa. 0: Condiciones prioritarias de adquisición de imágenes.

turbidez. Igualmente, información sobre precipitaciones o caudal de los ríos permiten analizar los diferentes niveles de turbidez. (ii) La posibilidad de comparar imágenes con diferentes condiciones hidrodinámicas posibilitan el establecimiento de "modelos empíricos" del funcionamiento hidrodinámico para sectores específicos (estuarios, bahías...). (iii) Finalmente, un sencillo tratamiento de esta base de datos permitirá seleccionar las futuras imágenes en las condiciones hidrodinámicas más favorables (Fig. 5) para conseguir la mayor representatividad en las condiciones hidrodinámicas de cada sector litoral.

Base de datos sobre actividades o intervenciones antrópicas

Se agrupan aquí informaciones sobre aquellas actividades, intervenciones o eventos ligados a la actividad del hombre que puedan incidir tanto en la calidad ambiental del medio litoral y marino, como interferir en su dinámica. Sintéticamente, hasta el momento presente se está recopilando información referente a:

- Emisarios y red de saneamiento.
- Obras de infraestructura costera (espigones, diques, puertos...) y regeneración artificial de playas.
- Eventos excepcionales en el medio litoral y marino (mareas negras, mareas rojas, vertidos puntuales...)

Bases de datos analíticos sobre muestreos de las aguas litorales y marinas

Esta base de datos recoge información relativa a la analítica realizada sobre las tomas de muestras de las aguas litorales y marinas. En las primeras (Fig. 6) esta información se genera bien a partir de trabajos rutinarios desarrollados por la Agencia de Medio Ambiente (tomas de datos desde embarca-

ciones, sensores automáticos en Huelva y Algeciras...), bien a partir de campañas específicas (toma de muestras simultáneas al paso del satélite y/o sensores aerotransportados). La referida a las aguas marinas proviene de las campañas oceanográficas realizadas por el Instituto Español de Oceanografía en el Golfo de Cádiz y el Mar Mediterráneo.

Las bases de datos antes citadas se asocian geográficamente, bien al espacio cubierto por cada imagen (características hidroclimáticas), o bien se georreferencian a la cartografía de base más adecuada (coberturas ARC-Info) según el tipo de información (1/10.000 para los emisarios, por ejemplo).

MUESTRA	PH	TURB.	CLORURO	SALIN.	SOLIDOS SUSPEN.
1	7.6	3.3	20.8	37.6	5.1
2	7.8	1.2	21.4	38.6	3.8
3	7.9	1.4	21.4	38.6	3.8

MUESTRA	OXIG. DIS.	MAT. ORG.	ACEITE	CLOR. A	CLOR. B	CLOR. C
1	7.2	10.1	0.3	1.9	1.2	4.0
2	7.8	10.7	1.2	0.5	0.4	1.5
3	8.4	10.1	0.8	1.7	0.3	1.5

Fig. 6.- Fragmento de una ficha de la base de datos de analítica de aguas. Muestreo realizado en la Bahía de Algeciras, 9-9-92.

Estado actual de desarrollo del Atlas

Aunque el objetivo final, como ya se ha comentado, es obtener un documento gráfico de cada una de las imágenes, en las primeras fases de desarrollo de este programa se han establecido áreas prioritarias en las escalas subregionales, locales y puntuales (LANDSAT-TM, HRV-SPOT y ATM), presentando los trabajos correspondientes a la escala regional (NOAA y NIMBOS) un estado bastante avanzado.

Los datos analizados a la escala subregional se centran sobre dos ámbitos específicos, especialmente problemáticos en la región (Estuario del Tinto-Odiel y Bahía de Algeciras). Las especiales características físico-naturales de estos espacios (amplios espacios intramareales, marismas, espacios protegidos, intensa dinámica sedimentaria...) y la intensificación de usos en cada uno de ellos (industria petroquímica, acuicultura, desarrollo turístico, pesca...) justifican sobradamente este orden de prioridad.

APLICACIONES

Como ya se ha comentado con anterioridad, las primeras aplicaciones de las imágenes de satélite al espacio marino y litoral fueron incluso previas al establecimiento de este "programa". En la medida que el número de imágenes y, por lo tanto de datos, ha ido aumentando, las aplicaciones también lo han hecho a la vez que se diversificaban en sus

temáticas. El número de aplicaciones desarrolladas hasta el momento presente (Moreira y Ojeda, 1992) y en "proyecto" es significativo, y podría agruparse en dos subprogramas:

- SUBPROGRAMA: AGUAS MARINAS y LITORALES:

La naturaleza fluida de estos medios, la escasez de datos sobre los mismos y, generalmente, su carácter secuencial y/o puntual (tomadas de muestras, campañas oceanográficas...), así como su extremado dinamismo avalan la utilización de la teledetección en estos medios, tanto como fuente de datos complementaria de las técnicas convencionales, como generadora de datos "ex novo" de gran interés medioambiental. Las experiencias aplicadas dentro de este subprograma se podrían agrupar en tres problemáticas específicas atendiendo a sus objetivos y ámbitos espaciales:

* **Caracterización y circulación de las aguas marinas:** El ámbito regional de estudio exige la utilización de sensores con especiales características de resolución espacial y espectral (NOAA fundamentalmente). Los parámetros utilizados han sido fundamentalmente la temperatura y se está comenzando con el fitoplancton. Su interés medioambiental como parámetro físico o biológico es de enorme trascendencia en la caracterización de las aguas marinas. Indirectamente, el tratamiento diacrónico de las estructuras térmicas está permitiendo el análisis dinámico de las mismas (circulación oceánica, frentes térmicos, upwelling, eddies...). (Figura 9).

* **Dinámica de las aguas litorales:** El progresivo interés por este ámbito geográfico y las evidentes relaciones con las actividades económicas ubicadas en el frente costero llevó a la Agencia de Medio Ambiente a potenciar su estudio dinámico a través de la teledetección espacial. La sustancial mejora en las resoluciones de los sensores LANDSAT-TM, SPOT-HRV, junto con la nueva aportación espectral de los embarcados en el ERS, posibilitan su análisis a escalas de mayor detalle. Las experiencias llevadas a cabo hasta el momento presente se sustentan en la utilización de las estructuras de turbidez y térmicas a modo de "trazadores naturales" (Figs. 7 y 8). Este análisis está proporcionando información sobre fenómenos dinámicos litorales a diferentes escalas (corrientes de marea, corrientes de retorno...) de gran trascendencia por el papel de estas aguas como "receptor/transmisor" de productos contaminantes. De igual forma están comenzando a desarrollarse aplicaciones para caracterizar la agitación de las aguas litorales a través de los datos proporcionados por el satélite ERS.

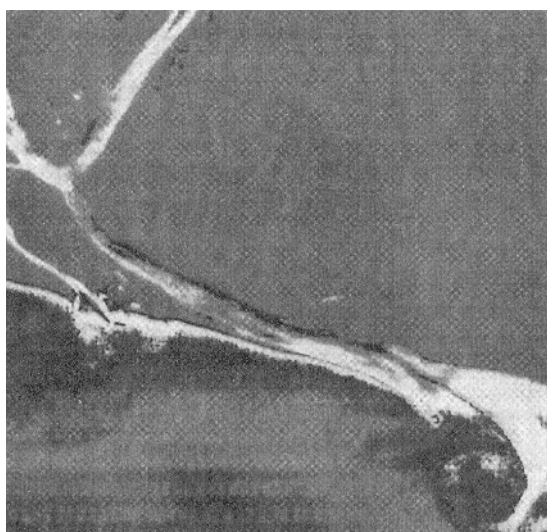
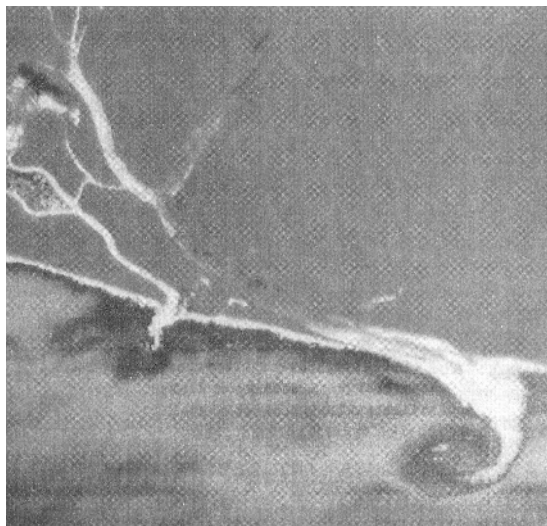


Fig.7 y 8.- La similitud de las estructuras de turbidez de estas dos imágenes, que difieren unos 6 años, avalan la perspectiva metodológica adoptada, ya que sus características hidrodinámicas son prácticamente idénticas

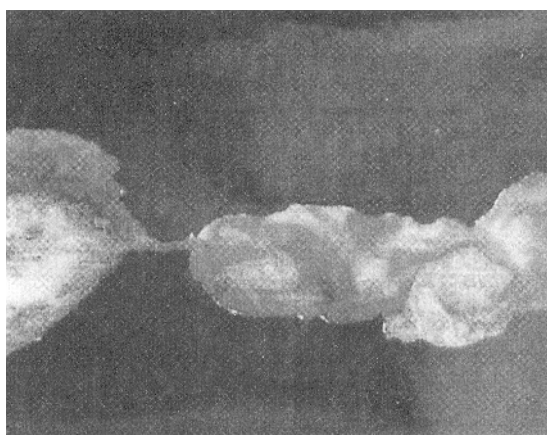


Fig.9.- Imagen de temperatura superficial del mar (NOAA)

* **Análisis de calidad ambiental:** La creciente preocupación por los niveles de calidad en las aguas litorales, debido a su repercusión directa sobre actividades de gran trascendencia econó-

mica en la región (turismo, pesca, acuicultura...), ha potenciado el uso de la teledetección en la caracterización y seguimiento de la calidad ambiental de estas aguas. Este tipo de experiencias ha exigido su tratamiento a escalas donde, junto a los sensores LANDSAT-TM y SPOT-HRV, se han utilizado sensores aerotransportados del tipo ATM. Junto a ello, ha sido necesario llevar a cabo exhaustivas y costosas campañas de tomas de datos sincrónicas al paso del sensor para establecer la correcta correlación entre ellas que permita su cuantificación.

- SUBPROGRAMA:FRENTE COSTERO

Adicionalmente a las aplicaciones sobre las aguas litorales y marinas, la teledetección se ha revelado como una eficaz herramienta en el análisis del ámbito litoral continental o emergido temporalmente. Las características físico-naturales y de uso de este espacio, igualmente caracterizado por un dinamismo elevado, dificulta su estudio exclusivo a través de las técnicas tradicionales. Por ello, la teledetección espacial ha sido utilizada aquí como una excelente fuente de datos complementaria aprovechando el carácter sinóptico, multispectral y multitemporal de los datos. De esta forma se han puesto en marcha un conjunto de aplicaciones centradas en dos aspectos específicos:

* **Evolución de playas y líneas de costa:** Se trata en este caso de unidades naturales que sustentan parte de las actividades económicas del espacio litoral, y cuyo deterioro medioambiental puede afectar directamente a las mismas actividades que sustentan (turismo, por ejemplo). Los sensores mejor adaptados a la dimensión espacial de estas unidades han sido LANDSAT-TM, SPOT-HRV, ATM, e incluso, se han combinado con fotografías aéreas en algunas aplicaciones específicas. El espectro infrarrojo reflejado ha sido de gran utilidad para establecer líneas de costa instantáneas o para la definición de niveles de humedad en la caracterización geomorfológica de estos espacios. De la misma forma, su tratamiento digital ha permitido establecer su evolución temporal, definición de riesgos de erosión, etc...

* **Caracterización y evolución de marismas y zonas húmedas litorales:** La variedad tipológica de zonas húmedas litorales en Andalucía, su interés medioambiental y su fragilidad ecológica han potenciados el uso de la teledetección en su caracterización y en el seguimiento de su evolución. La utilidad de los índices de vegetación o el control de los niveles de inundación instantáneos han permitido, indirectamente, su caracterización geomorfológica. De igual forma, la teledetección está siendo utilizada de forma satisfactoria para su caracterización altimétrica en el proceso de mejorar modelos digitales de terreno, como un primer paso para evaluar riesgos de inundación y modelizar su comportamiento ante la "potencial subida del nivel del mar". (Fig. 10).

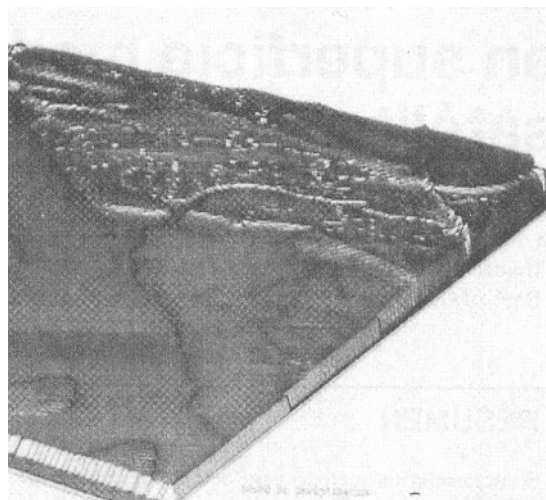


Fig.10.- Fragmento del DTM de las Marismas del Odiel.

BIBLIOGRAFÍA

- LOPEZ GARCIA, M^a J. y CASELLES, Y. 1987. Un método alternativo de corrección atmosférica. *Actas II Reunión del Grupo de Trabajo en Teledetección* Valencia.
- OJEDA ZUJAR, J. 1988. *Aplicaciones de la teledetección espacial al estudio de la dinámica litoral*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla. Inédita.
- OJEDA J. y MOREIRA, J. M. 1987. Teledetección y Cartografía de fenómenos litorales. *Actas II Reunión del Grupo de Trabajo en Teledetección*. Valencia.
- MOREIRA J. M. y OJEDA J. 1992. *Andalucía una visión inédita desde el espacio*. Agencia de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.