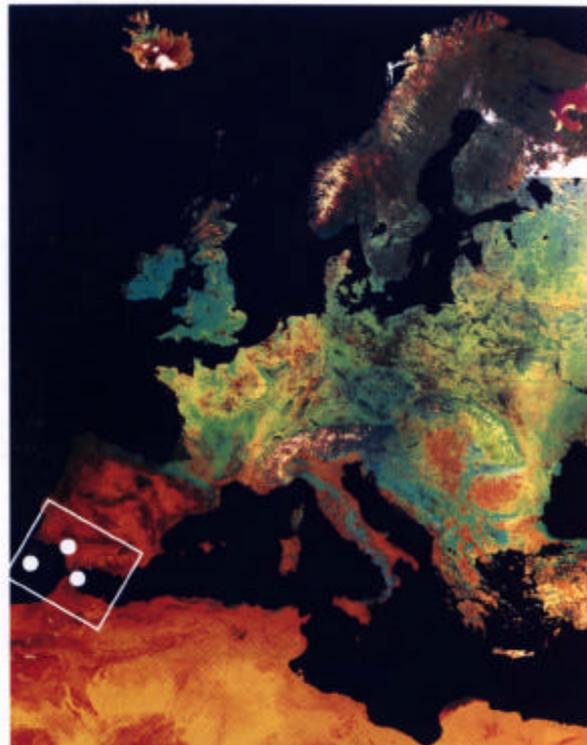


LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS MARINAS Y LITORALES.

Para finalizar este apartado centrado en exponer algunas de las posibilidades que ofrece la teledetección espacial en el estudio de las aguas marinas y litorales, hemos recogido un conjunto de experiencias cuyos resultados nos permitirán valorar la eficacia de esta nueva tecnología en el análisis de problemáticas medioambientales de creciente preocupación en nuestras costas: el control de la contaminación y de la calidad de las aguas marinas. En ellas, la teledetección aparece como una novedosa fuente de información que permite controlar la presencia de algunos productos contaminantes, colaborar en su seguimiento y, en última instancia, analizar el comportamiento de estas materias tóxicas una vez que se mezclan con las aguas marinas, cuya dinámica ejerce un significativo papel en la distribución y difusión de las mismas, ampliando o disipando su impacto sobre algunos de los recursos que soportan o sobre los que se ubican en el margen continental. Por ello, el análisis de estas problemáticas está íntimamente ligado a los resultados obtenidos en las experiencias sobre la dinámica de las aguas marinas que hemos observado con anterioridad. Las experiencias que se recogen a continuación suponen una primera aproximación a tres problemáticas medioambientales diferentes, que han podido ser tratadas a su adecuada escala, gracias a la utilización de tres sensores diferentes.



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

(5) - LOS VERTIDOS INDUSTRIALES EN EL GOLFO DE CÁDIZ.

Un primer ejemplo de la versatilidad y multiplicidad de uso de los datos aportados por la teledetección espacial nos lo proporcionan los resultados extraídos de un tratamiento específico realizado sobre las mismas imágenes del satélite NIMBUS-7 analizadas con anterioridad. Durante el análisis de los valores de reflectancia en el canal 3 (0,54 - 0,56 μ m), llevado a cabo sobre las mismas, aparecía reiteradamente un sector concreto situado en el centro del Golfo de Cádiz, a 35 millas náuticas al sureste de la Ría de Huelva, asociado a unos elevados niveles de reflectancia que no tenían una clara justificación atendiendo a las características físico-químicas normales de estas aguas. Investigaciones posteriores condujeron a conocer la existencia de vertidos periódicos de productos químicos residuales del Polo Industrial de Huelva en el Golfo de Cádiz, así como a verificar la correspondencia entre el área delimitada en 1989 para estos vertidos y la que ocupaban las peculiares "manchas" en las imágenes analizadas.

El tratamiento digital de las imágenes ha permitido individualizar los valores de reflectancia correspondientes a estos "supuestos vertidos" y, a la vez, identificar diferentes niveles de concentración (Figuras 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4). El análisis de cada una de las imágenes nos permite observar diferentes pautas en la dispersión de los mismos dependiendo de las condiciones hidrodinámicas reinantes y de su interacción con el dispositivo de corrientes que dinamizan la circulación del Golfo de Cádiz. Posteriormente, la corrección geométrica de todas las imágenes, ha permitido una superposición cartográfica en un único documento gráfico (Figura 5.6), del que podemos extraer algunas conclusiones de gran interés medioambiental. En primer lugar, la importante extensión superficial ocupada por los vertidos tras su desplazamiento por los movimientos de las aguas oceánicas. La superficie afectada supera ampliamente la autorizada para 1989, abarcando puntualmente algunas zonas más próximas a la plataforma continental (Figura 5.5), tradicionalmente utilizadas como caladeros por los pescadores onubenses. El desplazamiento y desarrollo de esta "mancha" presenta una clara dirección noroeste-sureste.



Figura 5.1: Extracción de estructuras de turbidez a partir de una imagen NIMBUS-7 de fecha 6 de septiembre de 1983. Azul, máximo nivel de concentración.



Figura 5.2: Extracción de estructuras de turbidez a partir de una imagen NIMBUS-7 de fecha 11 de septiembre de 1983. Azul, máximo nivel de concentración.

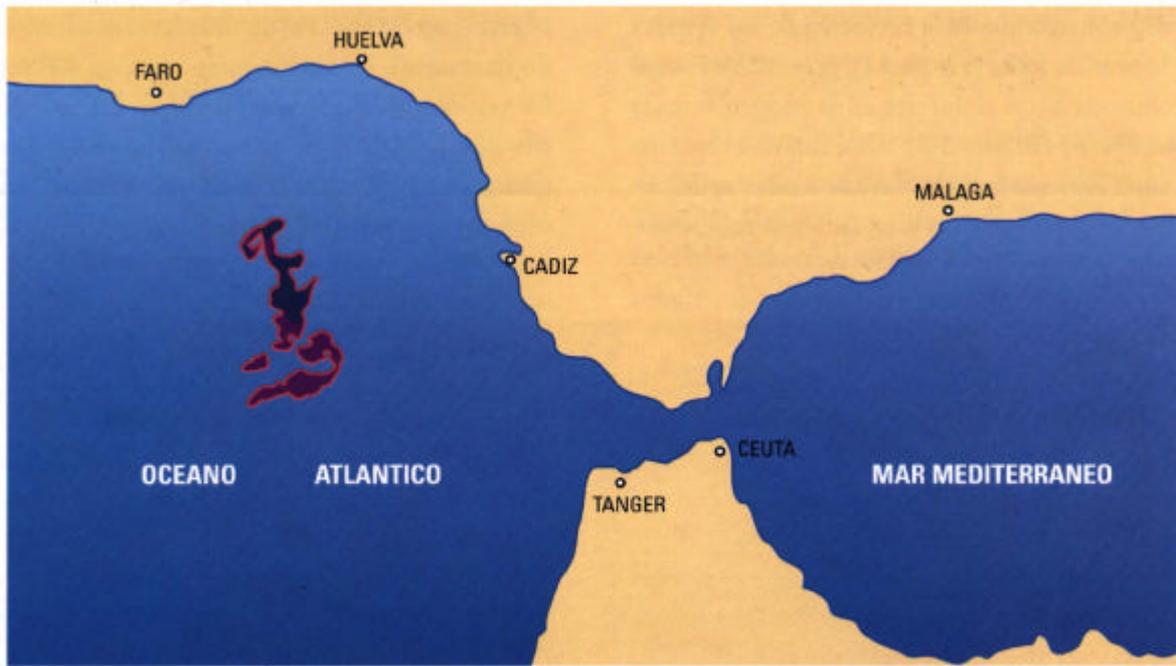


Figura 5.3.: Extracción de estructuras de turbidez a partir de una imagen NIMBUS-7 de fecha 17 de septiembre de 1983. Azul, máximo nivel de concentración.



Figura 5.4.: Extracción de estructuras de turbidez a partir de una imagen NIMBUS-7 de fecha 21 de septiembre de 1983. Azul, máximo nivel de concentración.

Un análisis diacrónico de la evolución de los vertidos muestra que la primera fecha (Figura 5.1), presenta una situación que evoluciona hacia el sureste en la imagen tomada cinco días más tarde (Figura 5.2). Una nueva evolución muestra a los diez días que las primeras estructuras se dispersan hacia el sureste, pero que se ha efectuado una realimentación (Figura 5.3) en la zona situada más al norte (nuevo vertido en imagen). La última imagen (Figura 5.4) muestra cómo los vertidos al igual que en la Figura 5.2 embocan el Estrecho de Gibraltar, en el que, es de suponer, penetrarán arrastrados por la potente corriente de compensación hacia el Mediterráneo existente en la zona.



Figura 5.5.: Golfo de Cádiz. Situación de la zona autorizada a vertidos del Polo Industrial de Huelva.

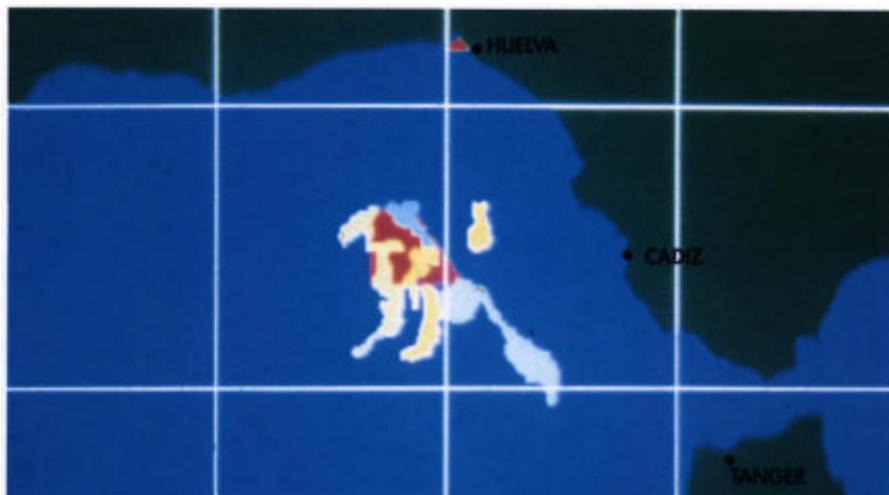


Figura 5.6.: Superposición de manchas de turbidez entre el 6 y el 21 de septiembre en el Golfo de Cádiz. Rojo, máxima concentración.

(6) - LA DIFUSIÓN DE LA CONTAMINACIÓN HÍDRICA EN LA COSTA DE HUELVA.

Las actividades económicas tradicionalmente ubicadas en la costa de Huelva (pesca, explotaciones forestales, agrícolas, salineras...), se vieron incrementadas durante los años sesenta con la instalación de un Polo de Desarrollo, ligado a industrias químicas, que se situó junto al estuario del Tinto-Odiel. A su vez, el sector septentrional de la provincia ha sido históricamente explotado con una intensa actividad minera, generando ambas actividades un volumen considerable de productos tóxicos que, o bien son drenados hacia la costa por la red hidrográfica (residuos mineros y algunos industriales), o bien son vertidos directamente a la costa o los estuarios (el caso singular de algunos productos residuales en el Polo Industrial de Huelva) (Figura 6.1). Ante esta situación, no cabe duda del enorme interés de un adecuado conocimiento de la dinámica del medio receptor (en este caso las aguas de estuario y aguas antelitorales) para poder estimar y valorar el alcance de podría tener un vertido excepcionalmente elevado de estas sustancias tóxicas. El caso que a continuación se expone --la difusión de metales pesados en la costa de Huelva-- está, por ello, directamente relacionado con la presencia de la "contracorriente litoral" comentada en páginas anteriores.

El único punto emisor significativamente importante de estas sustancias en la costa onubense es el estuario del Tinto y Odiel, ya que a través de él se canalizan los vertidos del Polo Industrial, así como las materias lavadas por la escorrentía superficial en la cuenca minera, toda ella incluida en su cuenca hidrográfica. Sin embargo, durante algunas fechas, en años recientes, se encontraron cantidades extraordinarias de metales pesados en las marismas situadas al oeste de la Ría de Huelva (Río Piedras e Isla Cristina).



Figura 6.1.: La contaminación de las aguas del estuario de los ríos Tinto-Odiel.

Este hecho no tenía una fácil explicación ya que los muestreos realizados en la red superficial vertiente a las mismas no presentaban niveles anormales y la vía marítima no se adecuaba bien, dada la presencia de la potente y conocida deriva, justamente con dirección contraria, es decir, hacia el este. Sin embargo, la presencia de la contracorriente identificada en las páginas anteriores, a través del análisis de las estructuras de turbidez, podría constituir el "vehículo" que movilizará estos productos contaminantes hacia el oeste.

El tratamiento de los datos proporcionados por el sensor LANDSAT-TM recogido en la Figura 6.2, viene a reforzar esta primera hipótesis, ya que las estructuras de turbidez asociadas a la pluma de turbidez del Tinto-Odiel, extraídas a través del tratamiento ya conocido, reflejan una situación dinámica que apoya la línea de argumentación antes apuntada. En ella se observa el penacho de turbidez asociado a la corriente de reflujó completamente inflexionado hacia el oeste, e incluso el resto de una expulsión anterior ya desplazada en el mismo sentido, relacionada con el funcionamiento intermitente de estas expulsiones debido al comportamiento alternativo de las corrientes de marea. Igualmente, este tratamiento nos permite observar con nitidez la zona de máxima concentración de partículas en suspensión ubicada frente a la Laguna de las Madres, que se justifica por el efecto de "tapón" creado por la situación de marea, la cual ya ha comenzado su fase de flujo por el oeste en el momento en que la imagen fue registrada.

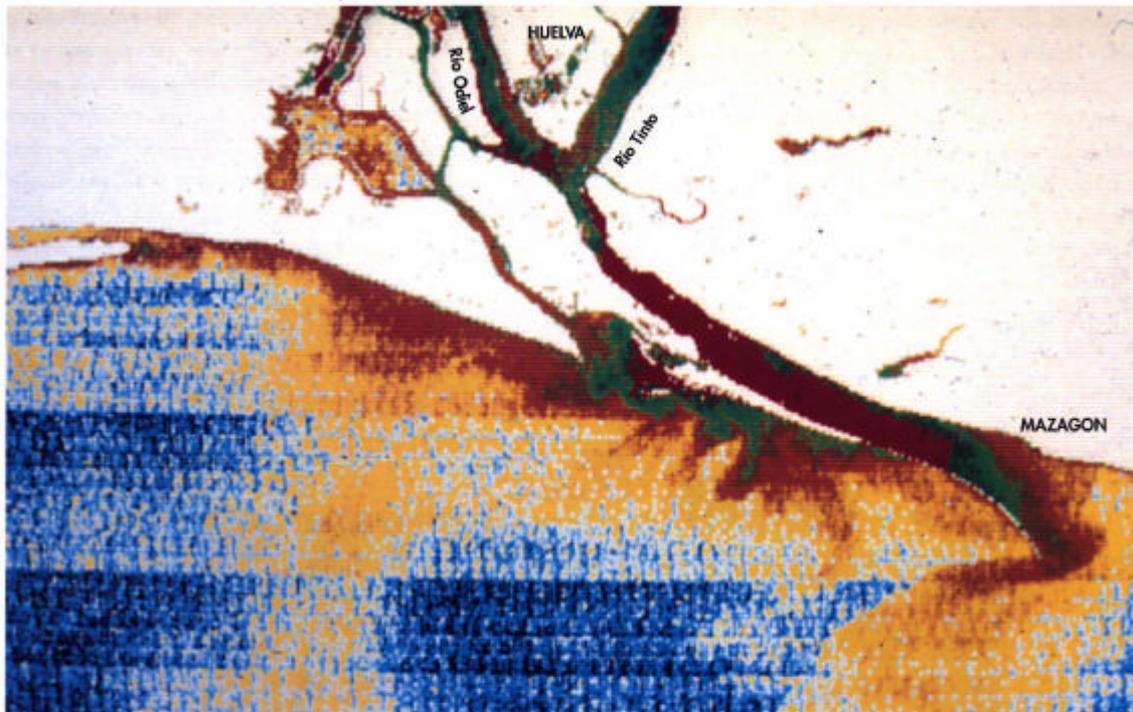


Figura 6.2.: Imagen de satélite Landsat-TM de fecha 7 de febrero de 1987.
Clasificación de niveles de turbidez en el estuario de los ríos Tinto-Odiel.
Los niveles aumentan desde el azul hasta el rojo.

(7) - EFLUENTES TÉRMICOS EN LA BAHÍA DE ALGECIRAS.

El objetivo de esta última aplicación se centra, en la utilización de la teledetección para el seguimiento y caracterización de un efluente térmico, en este caso asociado a una central térmica situada en la Bahía de Algeciras (Cádiz) (Figura 7.1).

Las centrales térmicas necesitan grandes cantidades de agua para el enfriamiento de diversos sistemas durante el proceso de producción y, por lo tanto, suelen situarse junto a las costas o junto a ríos y lagos. Tras este proceso, el agua es devuelta con temperaturas sustancialmente elevadas en relación a las aguas del medio receptor, pero progresivamente la temperatura de las aguas decrece a medida que estas se mezclan con las del entorno. La dispersión y mezcla de estas descargas térmicas deben ser estudiadas para la acertada ubicación de estas instalaciones y para minimizar el impacto sobre el medio receptor. De hecho estas descargas térmicas en superficie pueden provocar una elevación de las temperaturas adversa para determinados tipos de fauna, pueden formar frentes térmicos que imposibiliten la migración de determinadas especies de peces, o desde otro punto de vista, un mal diseño o ubicación de los mismos pueden llevar al retorno de las aguas cálidas a las zonas costeras adyacentes. En esta ocasión se trata de la descarga térmica asociada a la Central Térmica de los Barrios, canalizada fundamentalmente a través de arroyo Guadarranque.

Como puede observarse en la Figura 7.2 ni siquiera el sensor térmico de mayor resolución embarcado en plataformas espaciales (banda 6 del sensor LANDSAT-TM) permite una buena caracterización de este tipo de descargas ya que sólo se insinúa su presencia en la Figura 7.2. Es necesario para ello, la utilización de sensores aerotransportados, como el sensor ATM del radiómetro DEDALUS AADS 1266, como los utilizados en esta ocasión. La altitud del vuelo se sitúa a 3000 mts. y la resolución del píxel resultante fué de aproximadamente de 6 x 6 mts. Las Figuras 7.3 y 7.4 recogen dos tratamientos sobre los datos proporcionados por este sensor que nos permiten apreciar la distribución espacial y pautas de dispersión de la descarga térmica antes citada. Como puede observarse ninguna de las imágenes han sido corregidas geométricamente y ni radiométricamente y, por lo tanto, presentan una escasa integridad geométrica y radiométrica, a la vez que, evidencian una clara distorsión tangencial debido al funcionamiento de barrido del sensor.

La Figura 7.3 no es más que un falso color de las bandas 3-4-7 del sensor ATM simulando un color real. En él, debido a la resolución espacial del sensor son perfectamente reconocibles las principales estructuras del polo industrial así como las principales instalaciones de la central térmica (con su zona de admisión de aguas protegida por un espigón que la separa de la zona de descarga claramente visible en la Figura 7.4).

En esta imagen se ha realizado una segmentación del Canal 11 del sensor ATM de acuerdo con la intensidad de la respuesta recibida, en cierta medida, proporcional a la temperatura. Con ello la imagen recoge las estructuras de las temperaturas relativas presentes en este sector de la Bahía de Algeciras, las cuales identifican con precisión el punto de emisión, su capacidad de penetración en las aguas circundantes y su progresiva dispersión espacial.

Igualmente, del análisis de las estructuras térmicas recogidas en la Figura 7.4, pueden hacerse algunas consideraciones de interés: por una parte, la fecha de realización del vuelo (verano) revela el recalentamiento natural de las aguas fluviales, marismas y costeras respecto a las propias de la Bahía, ya que, por ejemplo, las canalizadas por el río Palmones presentan valores de temperaturas relativas muy próximas a las vertidas por la Central Térmica; por otra, los efluentes de esta individualizan, a pesar de su progresiva dispersión en las aguas de la Bahía, una importante barrera térmica, aislando a sus lados áreas definidas con las temperaturas propias de la Bahía para esta época del año. Finalmente, un ejemplo revelador del carácter estrictamente superficial de las temperaturas registradas por el sensor, nos lo muestran las estelas de aguas más frías que dejan los barcos en movimiento, en gran medida justificadas por la mezcla de las aguas superficiales y las inferiores que realizan las hélices de los mismos.

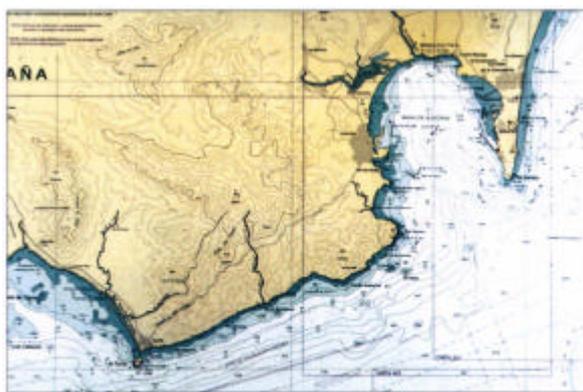


Figura 7.1.: Carta náutica de la Bahía de Algeciras. Un cañón submarino en la zona central es la peculiaridad batimétrica más notable.



Figura 7.2.: Imagen de satélite Landsat-TM de fecha 15 de junio de 1984. Clasificación de temperaturas relativas. Las temperaturas más altas en rojo, las más bajas en azul.



Figura 7.3.: Imagen de sensor aeroportado Daedalus-ATM de fecha 1 de julio de 1989. Falso color, canales 3,4,7.

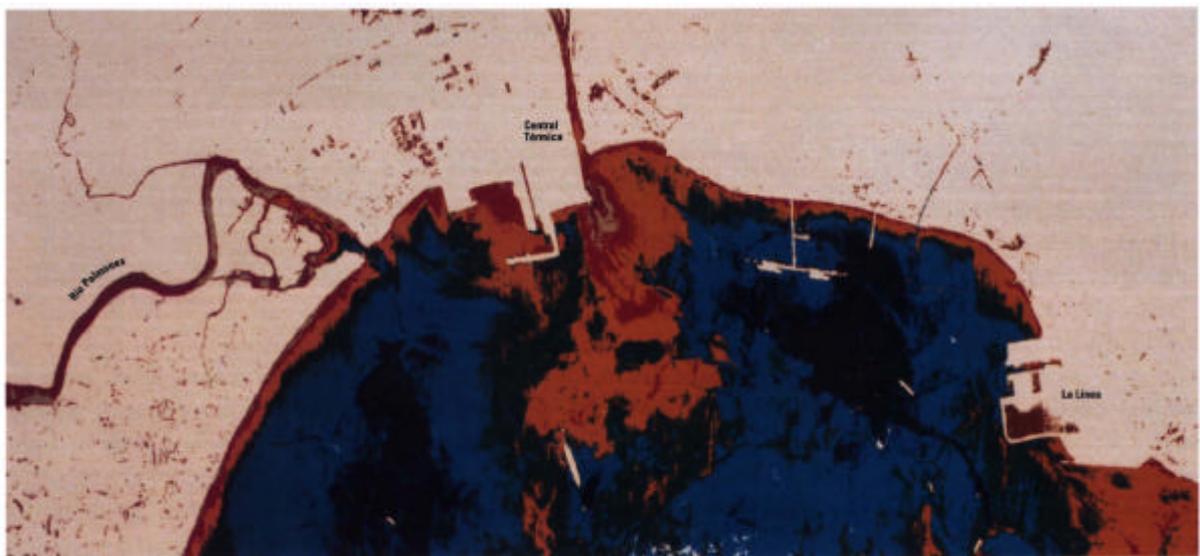


Figura 7.4.: Imagen de sensor aeroportado Daedalus-ATM de fecha 1 de julio de 1989. Clasificación de temperaturas radiométricas mediante segmentación del canal 11. Las temperaturas más altas aparecen en rojo-marrón, las más bajas en azul.