

# TELEDETECCION EN EL ESTUDIO DEL OCEANO. APLICACIONES EN GANARIAS

CANTON GARBIN, M., HERNANDEZ GUERRA, A  
*Departamento de Física, Facultad de Ciencias del Mar, Las Palmas*

SAN JUAN HERNAN-PEREZ A.  
*Departamento de Cartografía,  
Escuela Universitaria Politécnica, Las Palmas.*

## Introducción

El nacimiento de una nueva tecnología, los sensores instalados en satélites artificiales en órbita alrededor de la Tierra, nos ha aportado medios para el estudio del océano inimaginables hasta entonces.

Hasta años recientes, la mayoría de las observaciones oceanográficas se han realizado de un modo puntual mediante barcos oceanográficos, en campañas muy distanciadas en el espacio y en el tiempo y con una extensión superficial limitada. Frente a ello, el empleo de los sensores instalados en satélites presenta una serie de ventajas y, como contrapartida, una serie de inconvenientes.

Las ventajas de esta nueva tecnología frente al método tradicional vienen determinadas por dos propiedades esenciales: la observación sinóptica y reiterativa de los océanos.

La observación sinóptica permite la obtención de una visión global de una gran parte del océano en un período corto de tiempo con lo que podemos ampliar nuestro conocimiento de estructuras espaciales horizontales y la observación reiterativa proporciona datos oceanográficos con una alta frecuencia, facilitándonos el conocimiento de la evolución de estas estructuras en el tiempo. Como sabemos, ambos tipos de observación serían de difícil obtención y sumamente costosas a través de medios convencionales.

Sin embargo, como señalamos con anterioridad, esta nueva tecnología presenta también inconvenientes. De un lado, la atmósfera interfiere la señal procedente del océano alterándola e introduciendo ruido, con el agravante de que los sensores del visible y del infrarrojo sólo serán útiles en condiciones libres de nubes. De otro, esta tecnología únicamente nos aporta información de la capa superficial del océano.

La situación en que se encuentran actualmente los estudios de teledetección nos ofrecen una panorámica radicalmente distinta al de sus orígenes. Desde que en el año 1858, el fotógrafo francés Gaspar-Félix Tournachon elevó su globo sobre París para obtener la primera fotografía aérea, la teledetección ha tenido un desarrollo espectacular, en especial a partir de los años 60 hasta alcanzar la moderna sofisticación de sensores instalados en satélites en órbita alrededor de la Tierra.

Antes de continuar, hemos de definir en primer lugar el término «teledetección». Remontándonos a sus orígenes, el término teledetección es la transcripción del francés *télé-détection*, que a su vez es el equivalente de la expresión anglosajona *remote sensing*. En un principio esta expresión fue traducida en España como percepción *remota*, y aunque así se emplea todavía en varios países hispanoamericanos, finalmente, se ha impuesto en nuestro país el término teledetección.

Según la definición dada por el ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing), la teledetección es la medida o adquisición de información de ciertas propiedades de un objeto o fenómeno, según un sistema de registro que no está en contacto físico con el objeto de fenómeno estudiado. En nuestro caso, hemos de restringir esta definición puesto que el sistema de registro estará siempre constituido por sensores instalados en satélites artificiales en órbita alrededor de la Tierra, que operan en un rango del espectro electromagnético. Los ramos del espectro electromagnético utilizados en teledetección son: el visible e infrarrojo cercano (0,4-1,1  $\mu\text{m}$ ); el infrarrojo que incluye el infrarrojo térmico (3-14  $\mu\text{m}$ ); y las microondas (1-500 mm). En todos ellos, la atmósfera presenta ventanas.

### Aplicaciones en Oceanografía

Tras describir someramente las generalidades propias de la teledetección, nos ocuparemos a continuación de la aplicación de esta técnica a estudios oceanográficos a mesoscala.

No fue un comienzo precisamente brillante el simposio celebrado en 1964 en el Instituto Oceanográfico de Woods Hole titulado *Oceanography from Space*. Sólo había transcurrido unos cuantos años desde el lanzamiento de los primeros satélites y la comunidad científica formada en los métodos tradicionales del estudio del mar mostró un

cierto escepticismo ante lo que podría lograrse de un satélite que viajaba a velocidades de varios kilómetros por segundo, a cientos de kilómetros por encima del mar. Este escepticismo estaba de algún modo justificado debido a que hasta 1964 los sensores instalados en los satélites no tenían la resolución y precisión requerida para estudios científicos. Sin embargo, y a pesar de ello, algunos científicos intuyeron ya la magnitud de la contribución que los satélites podrían hacer a los estudios oceanográficos si se pudiesen desarrollar los sensores correctos.

El rápido progreso experimentado por los sensores de alta resolución durante la década de los setenta culminó en 1978 con el lanzamiento de tres satélites destinados a aplicaciones marinas: el Seasat que disponía de una serie de sensores en el microondas, el Nimbus-7 con el sensor CZCS (Coastal Zone Color Scanner) y la serie de satélites operacionales NOAA (TIROS-N) con el sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Tres satélites que han contribuido a restituir la confianza de la comunidad científica, parcialmente presionada por la euforia prematura de los sesenta.

En la tabla 1 mostramos los sensores utilizados con mayor frecuencia en estudios oceanográficos a mesoscala, el satélite en que iba o irá instalado, el rango del espectro electromagnético y el tipo de sensor.

Abrev	Nombre del sensor	Satélite	Espectro EM	Activo/Pasivo
ALT	Altimeter	*Seasat, ERS-1	Microondas	Activo
ATSR	Along Track Scanning Radiom.	*ERS-1	IR. cercano y térmico	Pasivo
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiom.	TIROS-N NOAA-6-11	Visible, IR, cercano y térmico	Pasivo
CZCS	Coastal Zone Color Scanner	NIMBUS-7	Visible, IR. térmico	Pasivo
SAR	Synthetic Aperture Radar	*Seasat ERS-1	Microondas	Activo
SASS (AMI)	Scatterometer	*Seasat ERS-1	Microondas	Activo

\* Próximo lanzamiento

Tabla 1. Sensores utilizados con mayor frecuencia en aplicaciones oceanográficas.

Los sensores instalados en satélites dedicados a estudios oceanográficos detectan algunas de las siguientes propiedades de la superficie del mar:

- Temperatura.
- Color.
- Pendiente.
- Rugosidad.

Es por ello por lo que cualquier parámetro oceanográfico que queramos medir debe producir una variación en una de estas cuatro propiedades superficiales.

En la tabla 2 mostramos la escala de longitud y tiempo, de una forma aproximada, de varios fenómenos oceanográficos dinámicos y el tipo de propiedad superficial que podemos detectar a través de la teledetección.

	Amplitud del desplazamiento superficial (m)	Longitud horizontal (km)	Escala de tiempo	Propiedad de la superficie del mar detectable
Corrientes ecuatoriales	0,3	5.000	Meses a años	Pendiente
Corrientes de frontera Oeste	1,5	100	Días a años	Pendiente, color, temperatura, rugosidad
Corrientes de frontera Este	0,3	100	Días a años	Pendiente, color, temperatura
Remolinos a mesoscala	0,25	100	100 días	Pendiente, color, temperatura
Frentes oceánicos	0,05	10	10 días	Color, temperatura, rugosidad
Ondas internas	0.10 cm	0,1-100	Segundos, horas	Rugosidad

**Tabla 2. Escala de longitud y tiempo de varios fenómenos oceanográficos dinámicos y el tipo de propiedad superficial que podemos detectar a través de la teledetección.**

A continuación examinaremos, de un modo somero, los sensores que miden alguna de las cuatro propiedades de la superficie del mar indicadas anteriormente: la temperatura, el color, la pendiente y la rugosidad.

### Radiómetros

Tanto los radiómetros instalados en el infrarrojo térmico como los instalados en el microondas permiten obtener imágenes de la temperatura superficial del mar. Ambos miden la radiación emitida por la superficie del mar, en sus respectivas longitudes de onda, lo que permite obtener la tem-

peratura de ésta a través de la Ley de Planck, considerando a la superficie del mar como un cuerpo negro.

La temperatura es un parámetro hidrológico fundamental en oceanografía, tanto desde un punto de vista biológico como físico, ya que por una parte las aguas frías suelen ser ricas en nutrientes y por otra, permite poner de manifiesto fenómenos tales como frentes, afloramientos, filamentos y remolinos, además, dados los rangos de temperatura en los que prefieren moverse algunas especies, las imágenes de temperatura constituyen un sistema importante de ayuda en la pesca.

Los radiómetros instalados en el infrarrojo térmico, con una resolución espacial de 1 km y una precisión de alrededor de 0,5 °C, se ven limitados por la presencia de nubes. Por el contrario, los ra-

diómetros instalados en el microondas no son afectados por la presencia de nubes pero, sin embargo, presentan una resolución espacial más pobre, alrededor de 150 km, y una precisión menor, alrededor de 1,5 °C.

### Scanner en el visible

Un scanner multiespectral que opere en el rango del visible suministra información del color del océano, con lo que se podrá obtener la concentración de fitoplancton. La medida de la concentración de fitoplancton es de gran importancia desde un punto de vista económico ya que, por lo general, las zonas de gran concentración de fitoplanc-

ton serán también zonas de gran riqueza pesquera. Dado que la concentración de fitoplancton en un área determinada puede variar en el intervalo de una semana, el seguimiento continuo mediante satélite es de fundamental importancia para dirigir las campañas de pesca.

Por otra parte, el fitoplancton actúa como un trazador natural en el océano, a partir del cual es posible obtener información sobre procesos de dinámica marina, como la evolución de corrientes, filamentos o remolinos oceánicos.

Como la radiación electromagnética visible puede penetrar varios metros por debajo de la superficie, los sensores que operan en el visible son los únicos que pueden proporcionar información acerca de las condiciones existentes en la capa superior del océano (del orden de varios metros). Todos los demás sensores sólo pueden proporcionar información cerca de lo que ocurre en la capa más superficial del océano (del orden de 1 mm).

### Altimetro

A través de este sensor podemos conocer la pendiente absoluta de la superficie del mar ya que puede medir la distancia entre el satélite y la superficie del mar con un error de 10 cm. Si podemos conocer la pendiente de la superficie del mar, podremos conocer entonces las corrientes en balance geostrofico: los intensos flujos asociados a las Corrientes de Frontera Oeste están confinados horizontalmente en un ancho no muy superior a 100 km, sobre el cual la altura superficial puede variar tanto como 100-150 cm, variación que es fácilmente detectable por el altímetro. Sin embargo, la mayor parte del flujo en el océano es considerablemente más lento: gradientes de pocas decenas de centímetros a través de distancias horizontales de 1.000 km pueden presentar mayores dificultades para su detección. De igual forma, a través de la pendiente de la superficie del mar, podemos detectar los remolinos a mesoscala puesto que pueden producir diferencias verticales a través de su diámetro del orden de 20-40 cm.

Además de la pendiente, el altímetro nos permite conocer también la rugosidad de la superficie del mar producida por los vientos. Con ello podemos estimar la velocidad del viento, aunque no su dirección, y la altura de onda significativa.

Por último y para finalizar con esta breve descripción del altímetro, hemos de señalar que otra de sus aplicaciones es el poder determinar las estructuras batimétricas del fondo marino.

### Escaterómetro

El escaterómetro es un sensor diseñado para medir la rugosidad de la superficie del mar. Estas ondulaciones superficiales son producidas por los vientos. Por ello, con la señal recibida por el escaterómetro, podemos estimar la velocidad del viento superficial con un error de  $\pm 2$  m/s y, al disponer de antenas alineadas de forma diferente, la dirección del viento con un error de  $\pm 20^\circ$ , con una resolución espacial de 50 Km. Esta medida, la velocidad y dirección del viento en la superficie del mar, es esencial para el estudio de las corrientes generadas por el viento.

La base física para realizar estas medidas proviene de la dispersión de las ondas de radar por las olas. La intensidad de la onda de radar dispersada es proporcional a la amplitud de las olas, lo cual depende, en última instancia, del viento superficial. Además, puesto que la dispersión no es isotrópica, la dirección del viento puede deducirse a partir de la comparación de las dispersiones obtenidas desde diferentes direcciones, situando diferentes antenas en un mismo escaterómetro.

### El radar de apertura sintética

El radar de apertura sintética es un sensor diseñado para medir la rugosidad de la superficie del mar con objeto de estimar las ondas superficiales del océano, puesto que este sensor emite ondas de radar oblicuamente hacia la superficie que son dispersadas por las ondas cortas superficiales de longitud de onda adecuada para producir el fenómeno de la dispersión de Bragg. Como las ondas largas modulan a las cortas, las imágenes del radar apertura sintética, construidas a partir del coeficiente de retrodifusión de cada pixel, permiten, tras calcular la transformada de Fourier, obtener el espectro y dirección de oleaje, en particular, e información de la textura y rugosidad superficial del mar, en general.

Unos de los aspectos más interesantes relacionados con el uso del radar de apertura sintética

es la posibilidad que nos ofrece de observar las ondas internas, posibilidad que causó enorme sorpresa ya que el radar de apertura sintética es un sensor que sólo mide la capa más superficial del océano pero, sin embargo, puede detectar procesos dinámicos que deben su existencia a gradientes de densidad vertical, originados fundamentalmente en la termoclina, entre 100 y 200 m de profundidad.

Queremos finalizar señalando que cometeríamos un grave error si consideráramos que los sensores instalados en satélites desplazan o sustituyen al método tradicional. Por el contrario, ofrecen un conjunto de medidas complementarias que nos permiten tener una mayor perspectiva de los datos obtenidos con el método tradicional. Teniendo en cuenta, además, que los fenómenos oceanográficos son generalmente complejos, con múltiples factores (físicos, químicos y biológicos) que interactúan simultáneamente, debemos acompañar en todo momento las medidas de estos sensores con medidas in situ para obtener, así, un mejor conocimiento de los fenómenos y procesos oceanográficos.

### Aplicaciones en Canarias

En el área de las Islas Canarias se ha realizado el procesamiento de escenas de los sensores CZCS y AVHRR en imágenes de Concentración de Pigmento de tipo Clorofílico e imágenes de Temperatura Superficial del Mar, respectivamente, con el propósito de aplicarlos a los siguientes estudios.

El primer estudio consistió en el análisis de las imágenes de Concentración de Pigmento de tipo Clorofílico. Nuestro propósito inicial 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 análisis de las imágenes 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 este trabajo, convertido entonces en un estudio oceanográfico de las estructuras a mesoescala de las aguas que rodean el Archipiélago. Al analizar dichas imágenes hemos comprobado que, junto a la presencia de estructuras propias del 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.

Las imágenes procesadas fueron utilizadas, en segundo lugar, para elaborar un estudio comparativo entre las estructuras oceanográficas observadas y la batimetría, con el objeto de analizar la posible relación existente entre ellas. Hemos limitado este trabajo a constatar esta relación sin entrar en 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.

La tercera de las aplicaciones consistió en el análisis de las imágenes de Temperatura Superficial del Mar para, en primer lugar, comprobar que las mismas estructuras oceanográficas observadas en las imágenes de Concentración de Pigmento de tipo Clorofílico tienen su correspondencia en las imágenes de Temperatura Superficial del Mar y, en segundo lugar, estudiar uno de los fenómenos más sorprendentes que hemos podido observar en las imágenes de Temperatura Superficial del Mar y que no tiene su correspondiente manifestación en las imágenes de Concentración de Pigmento de tipo Clorofílico, como son las largas estelas de agua caliente a sotavento de las islas, junto con una estructura de la isla de Gran Canaria presente tanto en las imágenes de Concentración de Pigmentos de tipo Clorofílico como de Temperatura Superficial del Mar, confirmada también con datos AXBT (airborne expendable bathythermographs).