

## Tratamiento digital de imágenes sonográficas submarinas

Rey, J.<sup>(1)</sup>; Siljeström, P.<sup>(1)</sup>; Moreno, A.<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Instituto Español de Oceanografía  
Málaga

<sup>(2)</sup>Instituto de Recursos Naturales (CSIC)  
Sevilla

### RESUMEN

En el presente trabajo se discute la aplicación del tratamiento digital sobre sonografías submarinas obtenidas a partir de un sonar de barrido lateral. Estas son imágenes monocromas, tomadas en dos frecuencias diferentes (100 y 500 kHz). Dadas las características específicas que poseen, se estudia y discute la metodología idónea para cada caso (tipos de filtros, clasificaciones, operaciones aritméticas, etc), en función de los rasgos y ruido que presentan.

### ABSTRACT

The present paper deals with the applied utility of digital image processing techniques on Side Scan Sonar images. These are monochromatic images, obtained in two different frequencies: 100 and 500 kHz. The study presents the most suitable methodology for each case (types of filters, classifications, etc), depending on the features to be studied and noise appearing in the image.

### Introducción

Actualmente el Sonar de Barrido Lateral, en sus múltiples versiones, está siendo ampliamente utilizado en una gran variedad de estudios submarinos (Duck & McManus, 1990; Gloux, 1984; Newton & Stefanon, 1985; Rey & Sanz, 1981; Sanz & Rey, 1983; Parson et al., 1993). La capacidad de esta técnica para caracterizar la naturaleza de los materiales que forman el fondo marino, y la posibilidad de detectar los relieves y objetos que se encuentran sobre él, la convierten en una herramienta de detección remota muy útil para la exploración e investigación submarina.

Los sistemas actuales de sonar lateral son capaces de proporcionar imágenes sonográficas isométricas de alta resolución, cada vez más cercanas a la calidad de las fotografías aéreas. La tecnología electrónica digital permite perfeccionar y mejorar significativamente las cualidades de las sonografías relacionadas con las correcciones geométricas de las imágenes, así como su representación gráfica y su resolución.

Dos tipos de tratamientos básicos se aplican a las imágenes obtenidas con sonar lateral. Por un lado, un tratamiento geométrico cuantitativo sobre la información bruta que se recoge, para eliminar las distorsiones laterales y longitudinales producidas por la oblicuidad de la emisión y la velocidad de desplazamiento del buque que arrastra el sensor, permitiendo de esa forma, obtener imágenes isométricas. De otra parte, un segundo tratamiento cualitativo es aplicable a los elementos que forman la imagen sonográfica (contornos y zonas de diferentes tonos e intensidades), de tal forma que permite clasificar e identificar el tipo de elementos que dan lugar a la formación de la imagen sonográfica, tanto a los objetos que se sitúan en la columna de agua, como los materiales que constituyen el fondo (Jan & Minot, 1989; Parson et al, 1993).

Para el presente trabajo se han seleccionado una serie de registros sonográficos en las bandas de 100 y 500 kHz con resolución de un metro, mostrando imágenes de diferentes tipos de fondos, estructuras y morfologías submarinas.

#### ***Sonar de barrido lateral: registro de sonografías***

El Sonar de Barrido Lateral, obtiene la información a partir de la energía acústica reflejada por los materiales que constituyen el fondo marino, en función de las irregularidades morfológicas y del coeficiente de reflectividad, al incidir sobre ellos un haz oblicuo de pulsos acústicos emitidos por dos transductores cerámicos simétricos y situados a ambos lados del sensor sumergido en el agua.

En operación, la técnica sonográfica mantiene una cierta similitud con el radar convencional, de forma que produce un registro continuo de una vista oblicua del área barrida (Fig. 1).

Las sonografías que se muestran en este trabajo, han sido obtenidas con un equipo de Sonar de Barrido Lateral Klein modelo 595 de doble frecuencia simultánea (100 y 500 kHz). El sistema está compuesto por una unidad de control, un registrador gráfico de precisión de dos canales sobre papel térmico con resolución de 200 puntos por pulgada, y un sensor sumergido (pez), sobre el que están montados los transductores de emisión-recepción. La escala de trabajo elegida fue de 100 metros por canal, barriendo una franja de 200 metros bajo los dos costados del barco.

#### ***Tratamiento de las imágenes***

El procesado de las imágenes sonográficas digitalizadas, se llevó a cabo con un sistema Intergraph que trabaja con un software denominado ISI-2. Los registros originales, sobre papel, fueron escaneados sobre este mismo sistema con una resolución de 250 dpi.

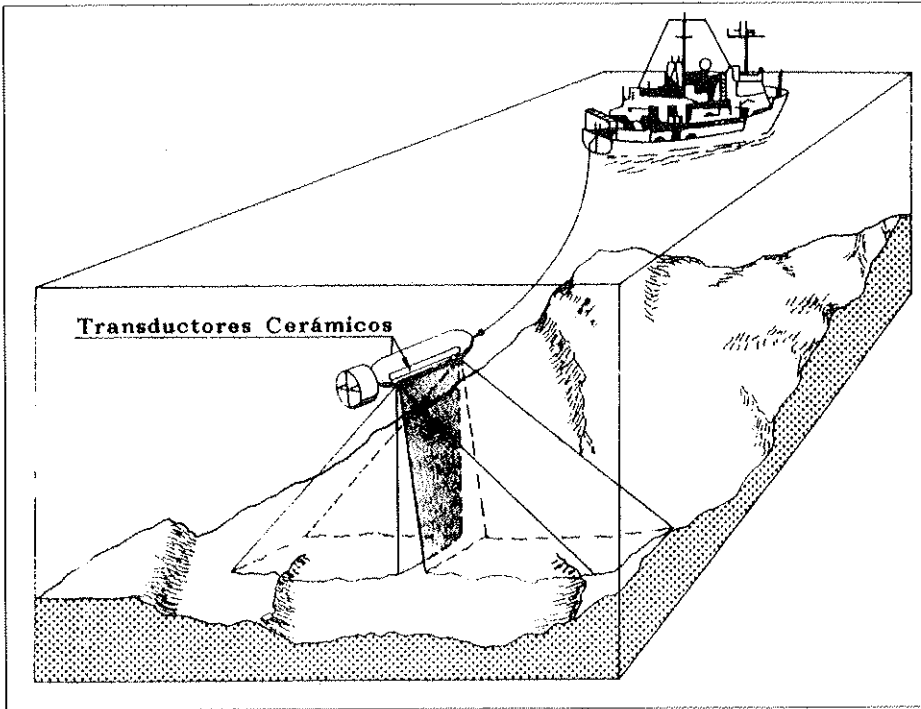


Figura 1  
Registrado de sonografías submarinas

Las imágenes sonográficas son similares en muchos aspectos a las obtenidas por SLAR, en el sentido de simetría, geometría, sombras y distorsiones (Sabins, 1986; Duck & McManus, 1990). Presentan asimismo una serie de problemas derivados del propio sistema, de la geometría de operación y del medio en que se encuentran. El principal problema, es el ruido producido por la contaminación del pulso acústico por otras fuentes de interferencias ajenas al propio sistema (acústicas o eléctricas) (Searle et al, 1990; Miller et al., 1991). El ruido acústico puede tener procedencias muy variadas (maquinaria del buque, cavitación de las hélices o incluso animales marinos), presentando generalmente un carácter discontinuo y valores digitales en toda la escala monocromática, por lo que es muy difícil de eliminar. A esto se le une, que se trabaja con un escaso número de bandas por imagen, que son dos en el mejor de los casos (100 y 500 kHz) y muy correlacionadas.

Por tanto, y teniendo en cuenta que la mayor causa de variación en los valores digitales de las imágenes sonar está provocada por los rasgos topográficos (Duck & McManus, 1990), el tratamiento digital de éstas tiene que tender hacia un realce de patrones y análisis textural (Drury, 1986).

A partir de las imágenes registradas se recortaron las subescenas, de diferente tamaño para cada par de bandas, teniendo en cuenta los rasgos a estudiar en cada una de ellas. A continuación se aplicaron realces de contraste a cada subescena, con el fin de mejorar la detección de objetos o patrones en la interpretación visual.

Por otro lado se aplica un realce espacial, que trabaja en el espacio de las frecuencias (filtros) y que en éste tipo de estudio tiene especial relevancia (Jan & Minot, 1989). Los filtros utilizados en el presente estudio han sido el de Kirsch (para detección de bordes), el de moda y el de cuña (este último en el espacio de Fourier), ambos de suavizado (Intergraph, 1993).

Los procesos de realce espectral consisten básicamente en composiciones de falso color (RGB), componentes principales (PC), y operaciones aritméticas entre bandas. En el primer caso, dado que sólo se dispone de dos bandas como máximo, estas fueron complementadas con las resultantes de procesos como filtrados, operaciones aritméticas, etc., pero, en cualquier caso, las más utilizadas fueron estas últimas, ya que realzan las diferencias entre dos bandas de una misma subescena (Siljeström et al., 1993).

Por último y a partir de toda la información obtenida se aplicaron procesos de clasificación no supervisada mediante el algoritmo ISODATA y usando los clasificadores de mínima distancia o máxima verosimilitud.

### **Resultados y discusión**

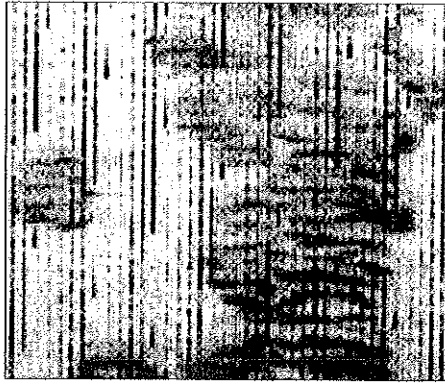
El tratamiento de las cuatro imágenes escogidas se basa en un análisis interpretativo previo de las mismas por conocedores del sensor y de la zona de estudio. Las imágenes de que se dispusieron, y el tratamiento que se discute en el presente capítulo se recogen en la Tabla 1.

1.- En la primera imagen se constata la existencia de praderas de *Posidonia oceánica* sobre un fondo arenoso plano. La imagen original, además de ser muy grande, es de muy mala calidad, ya que la banda tomada con 100 kHz presenta mucho ruido. Por otro lado, la *Posidonia oceánica* se presenta en patrones de pequeño tamaño, por lo que se recortaron dos extractos iguales de 430 x 530 pix., uno en cada banda (pos1.ext y pos5.ext para 100 y 500 kHz, respectivamente) (Fig. 2, A y B).

La imagen tomada con 100 kHz, a pesar del ruido que presenta, es la que contiene mayor información sobre las praderas, por lo que el tratamiento en este caso se ha centrado en ella. El ruido, fue atenuado con un filtro de cuña (FFT wedge). En este caso, las cuñas ocupaban, simétricas e idénticas, el eje vertical, excluyendo del filtra-

IMAGEN	TAMAÑO (línea x pixel)	FRECUENC. (KHz)	CLASIFIC.		REALCE	
			tipo clasificador	CONTRASTE	ESPACIAL	ESPECTRAL
pos1.ext	430 x 530	100	-no sup. (isodata) -max. verosimilitud	dsl (u-def)	FFT Wedge Moda 5x5	
pos5.ext	430 x 530	500				
pos1w.dsl	430 x 530	100				
isopos1.mod	430 x 530	100				
arr1.ext	1996 x 2900	100	-no sup. (isodata) -min. distancia		Kirsch Moda 5x5	
arr5.ext	1996 x 2900	500				
arr15.add	1996 x 2900	100 y 500				arr1.ext+arr5.ext
arr1.krs	1996 x 2900	100				arr1.ext+arr5.ext
isosumarr	1996 x 2900	100 y 500				
arr1.rgb	1996 x 2900	100 y 500				R arr1.ext G arr15.add B arr1.krs
barco.ext	1521 x 1553	100	-no sup. (isodata) -min. distancia			
isopecio.mod	1521 x 1553	100				
ge31.ext	1500 x 2000	100	-no sup. (isodata) -max. verosimilitud		Moda 5x5	ge31.ext/ge35.ext
ge35.ext	1500 x 2000	500				
ge315.rat	1500 x 2000	100 y 500				
isoge3rat.mod	1500 x 2000	100 y 500				

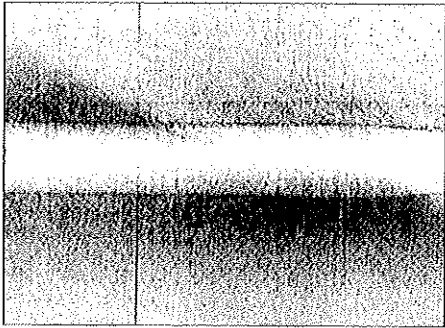
Tabla 1  
Procesos aplicados a las diferentes imágenes



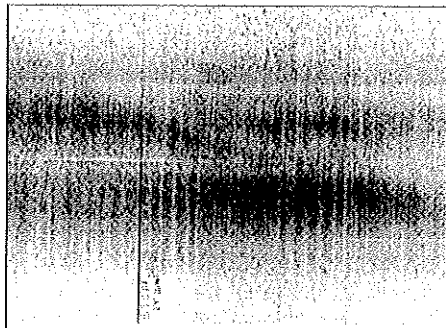
(A)



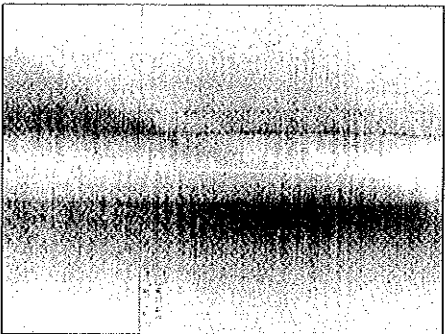
(B)



(C)



(D)



(E)

Figura 2  
Imágenes monocromas correspondientes  
a pos.ext (A y B) y arr.ext (C, D y E)

do a las zonas adyacentes a dicho eje. Así, se eliminan estructuras en este sentido, permaneciendo solamente las horizontales, y muy suavizadas. A la imagen resultante, se le aplicó posteriormente un *density slice* con cuatro clases, que permiten distinguir claramente las praderas de *Posidonia oceánica* (en rojo y naranja) del fondo arenoso (en azul y verde) (pos1w.dsl) (Fig. 4, A).

Por otro lado, se realizó una clasificación no supervisada con el algoritmo isodata y el clasificador de máxima verosimilitud sobre la imagen pos1.ext. (isopos1.mod) (Fig. 4, B). Aunque el ruido aparece marcado, la imagen resultante ofrece en seis clases una excelente información de las comunidades de *Posidonia oceánica* (en verde) sobre el fondo arenoso (en azul). Dicha imagen, combinada con la anterior, ofrece grandes posibilidades para la cartografía de esta especie.

2.- La segunda imagen se ocupa, igualmente, de un fondo arenoso y plano, donde las redes de arrastre de barcos pesqueros han formado surcos que dejan al descubierto sedimentos gruesos de tipo grava. Estas estructuras, debido a su gran tamaño, han necesitado unos extractos de 1996 x 2900 pixels.

La imagen tomada con 500 kHz (arr5.ext) (Fig. 2, D), que aparece emborronada, es la que mejor muestra toda la superficie ocupada por dichas gravas, aunque su calidad sea inferior a la de 100 kHz (Fig. 2, C), que a su vez presenta una banda horizontal sin datos por fallos en el sensor.

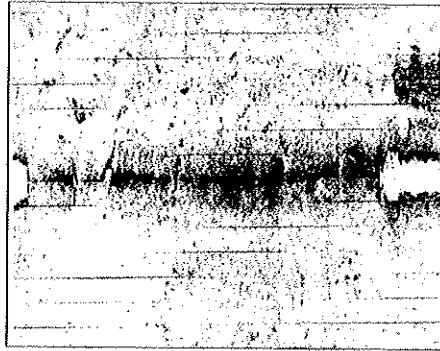
En primer lugar se sumaron ambos extractos (arr15.add, Fig. 2, E). Dicha imagen muestra los surcos, pero el fallo que aparece en el extracto arr1.ext, introduce unas variaciones horizontales que no se corresponden con la realidad, ya que las gravas tienen una morfología continua a lo largo del fondo. El mismo problema presenta la imagen procedente de una clasificación no supervisada aplicada a la suma de extractos (isosumarr.mod) (Fig. 4, C). Las gravas adoptan color rojo, que pasan a naranja y amarillo a medida que la textura del fondo se hace más fina (arena), que se muestra en tonos azules.

Finalmente se hizo una composición en falso color con bastante buen resultado, aunque presenta el mismo problema de las imágenes anteriores. Para esta composición se utilizaron las imágenes arr1.ext, arr15.add y arr1.krs (arr1.ext con el filtro Kirsch) para R, G y B, respectivamente, obteniéndose arr1.rgb (Fig. 4, D). Las gravas aparecen en tonos azules, mientras la arena adopta un color amarillo-verdoso. El espacio horizontal amarillo en el centro de la imagen es ficticio, como se ha comentado anteriormente.

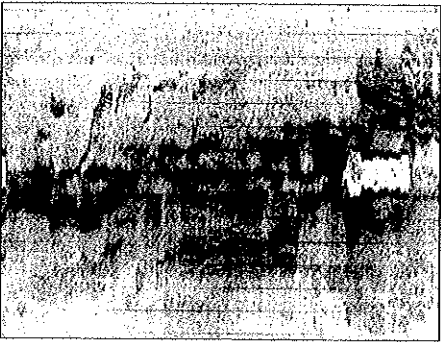
3.- La tercera imagen estudiada, fue tomada solamente en la banda de 100 kHz, y muestra un barco hundido sobre un fondo arenoso plano. El casco de este barco tiene partes metálicas, por lo que ofrece una fuerte respuesta sónica, apareciendo en tonos



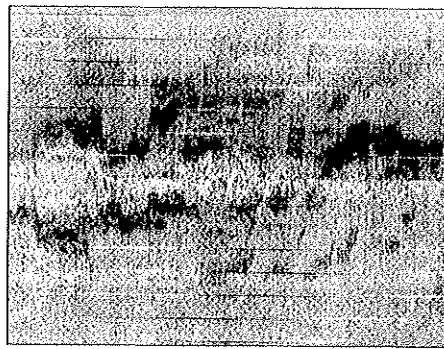
(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 3  
Imágenes monocromas correspondientes a barco.ext (A) y gc3.ext (B, C y D)



muy oscuros. Por otro lado, detrás del barco aparece su sombra en color blanco, debido a la ausencia de datos (Fig. 3, A). La única banda disponible para su tratamiento restringe mucho las posibilidades, entre las cuales destaca por su calidad la clasificación no supervisada de tipo isodata con mínima distancia. A la imagen resultante (isopecio.mod) (Fig. 4, E) se le aplicó un filtro de moda de 5x5 (de suavizado), obteniéndose una clara diferenciación del casco metálico y otros restos en color rojo, su sombra en verde y el fondo arenoso con matas dispersas de algas y/o fanerógamas marinas en distintos tonos de azul a verde amarillento.

4.- La cuarta imagen estudiada corresponde a una zona con fondo arenoso y horizontal sobre el que se asientan los restos metálicos de un naufragio (esquina superior derecha), visibles en los extractos correspondientes a las dos frecuencias (ge31.ext (100 kHz) y ge35.ext (500 kHz)) (Fig. 3, B y C).

Una característica que diferencia ambas imágenes son las masas de algas en suspensión (De Andrés et al, 1991) que se detectan en ge35.ext (500 kHz), permaneciendo invisibles en ge31.ext. Para destacar esta diferencia, se dividieron los dos extractos. En la imagen resultante (ge315.rat, Fig. 3, D) desaparece la chatarra y las manchas blancas ocasionadas por defectos del sistema, destacando las masas de materia orgánica en suspensión. Posteriormente, se le aplicó una clasificación no supervisada y unos filtros de moda para su suavizado. La imagen obtenida (isoge3rat.mod) (Fig. 4, F), más sintética que la anterior, muestra de forma más clara donde se localizan las masas de materia orgánica en suspensión más densas, que aparecen en color rojo. Los filtros de suavizado consiguen eliminar casi totalmente el ruido correspondiente a interferencias acústicas que, en este caso, no influyen prácticamente en la interpretación y tratamiento de la imagen.

### **Conclusiones**

En resumen, se concluye que tanto para algas y plantas vivas o muertas, sésiles o flotantes, objetos metálicos o morfologías del sustrato, el tratamiento digital de las imágenes obtenidas por sonar facilita su interpretación. Esta debe realizarse en primer lugar por un experto en el sistema, que pueda resolver parte de los problemas de ruido y manchas operacionales. Con el tratamiento digital, esta interpretación puede reducirse a un mínimo, así como ampliar su empleo a nuevos sectores.

Entre las técnicas más utilizadas, destaca la clasificación no supervisada con el algoritmo isodata y los clasificadores de mínima distancia o máxima verosimilitud,

*cal Research*, 12: 21-39.

**Siljeström, P.:** et al. 1993. Diferenciación de unidades edáficas en base a imágenes TM. *Revista de Teledetección*, en prensa (nº 7).