

## ANÁLISIS DE IMÁGENES ACÚSTICAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE BLANCOS

PACS: 43.60.Lq

Lara del Val; María Isabel Jiménez; Alberto Izquierdo; Juan José Villacorta  
Universidad de Valladolid  
Campus Miguel Delibes  
ESTI Telecomunicación  
Paseo de Belén, 15  
47011, Valladolid  
Tel: 983185803  
Fax: 983423667  
E-Mail: [lara.val@tel.uva.es](mailto:lara.val@tel.uva.es)

### ABSTRACT

This work presents an analysis of the feasibility of employing acoustic signatures for the identification and classification of targets, employing an acoustic array on the basis of SODAR systems. The response of targets in the presence of spatially-beamformed acoustic signals is analyzed. The objective of this analysis is the identification of the object/target in a signature base. The employed signal processing system is based on a low cost PC/DSP/FPGA architecture and it implements an identification algorithm based on mean squared error (MSE).

### RESUMEN

Se presenta un análisis de la viabilidad del empleo de firmas acústicas para la diferenciación y clasificación de blancos, haciendo uso de un array acústico de exploración electrónica, enmarcado en el ámbito de los sistemas SODAR. Se analiza la respuesta de los blancos ante señales acústicas conformadas espacialmente, con el objetivo de identificar el objeto/blanco en una base de firmas. El sistema de procesado de señal empleado está basado en una arquitectura PC/DSP/FPGA de coste reducido e implementa un algoritmo de identificación basado en el error cuadrático medio.

### 1 – INTRODUCCIÓN

El principio de los sistemas de detección y localización, consiste en el envío, por parte de un transmisor, de una señal que rebotará en cualquier blanco que encuentre a su paso (tierra, mar, barcos, aeronaves), y una pequeña cantidad de energía es devuelta al receptor. Después de amplificar las señales en el receptor, las señales se procesan para separar los ecos requeridos, de los no deseados, mediante una combinación de procesado electrónico (de señal) y software (procesado de datos). A partir de estos “ecos” se puede extraer gran cantidad de información. Entre los sistemas más importantes de detección y localización se encuentran los sistemas RADAR y SONAR.

El término RADAR deriva del acrónimo inglés *Radio Detection and Ranging* (detección y medición de distancias por radio). Es un sistema que usa ondas electromagnéticas para medir distancias, altitudes, direcciones y velocidades de objetos estáticos o móviles como aeronaves, barcos, vehículos motorizados, formaciones meteorológicas y el propio terreno. Los radares modernos van más allá y se desarrollan para clasificar o identificar blancos [1]. Por otra parte está el SONAR (del acrónimo inglés *Sound Navigation and Ranging*, 'navegación y alcance por sonido'), que es una técnica que usa la propagación del sonido bajo el agua (principalmente) para navegar, comunicarse o detectar otros buques. El sonar también puede usarse como medio de localización acústica, funcionando de forma similar al Radar, pero empleando impulsos sonoros [2].

En los últimos años, ha cobrado gran importancia el deseo de identificar blancos bajo cualquier condición meteorológica y de ruido, así como el desarrollo y optimización de radares con técnicas de clasificación mejoradas [3]. Se pueden encontrar sistemas basados en la generación de imágenes en una gran variedad de aplicaciones, basándose gran parte de ellos en la utilización de ondas acústicas, obteniendo imágenes o firmas acústicas de diferentes objetos a partir de la información espacial implícita en las reflexiones de los haces en dichos objetos [4].

El objetivo de este proyecto es conseguir modelar blancos acústicos haciendo uso de un array de exploración electrónica, dadas las similitudes entre eco-localización y un sónar activo basado en un array de sensores acústicos.

## 2. IMÁGENES ACÚSTICAS EMPLEANDO ARRAYS DE EXPLORACIÓN ELECTRÓNICA

Aunque se han desarrollado un gran número de estudios en este ámbito, la clasificación precisa y fiable de blancos sigue siendo un problema clave en las aplicaciones de RADAR y SONAR [1,5]. Esta actividad la llevan a cabo con gran éxito los mamíferos que emplean eco-localización, tales como murciélagos, ballenas y delfines, así como dos clases de pájaros, que utilizan este sistema para navegar en cuevas sin visibilidad. Aunque las frecuencias y las formas de onda empleadas en los radares y por los animales eco-localizadores no son las mismas, su paralelismo sugiere que se puede aprender de la naturaleza [6]. Ya existen trabajos, por ejemplo, que estudian cómo los murciélagos clasifican distintos tipos de flores por medio de eco-localización [7]. En estos estudios se escanea el objeto a detectar con un haz. El haz se forma focalizando la salida del sensor, o del conjunto de sensores, en una determinada dirección. La imagen deseada se puede obtener de las reflexiones de los haces.

El empleo de características acústicas de los blancos para obtener imágenes de los mismos es una técnica ampliamente empleada dentro del ámbito de las firmas acústicas. La firma acústica es un conjunto de características de la señal recibida en el dominio frecuencial-temporal, que permiten obtener información, acerca de la fuente que generó la señal. La obtención de estas firmas acústicas se basa en sónares pasivos, que se centran únicamente en detectar las señales irradiadas por los blancos. Este empleo de firmas acústicas puede verse en la naturaleza en ejemplos tales como el de ciertas tortugas marinas que identifican las superficies marinas por el ruido que hacen las olas al romper en sobre ellas, sabiendo así si son aptas o no para depositar sus huevos [8], o en el análisis de los ruidos generados por ciertos cangrejos, para la identificación de su sexo [9].

Por su parte, la sección radar cruzada (RCS – Radar Cross Section) podría considerarse la técnica complementaria a la firma acústica en el dominio espacial y empleando en su detección radares activos, que transmiten la señal y a su vez reciben los ecos producidos por la reflexión de la señal transmitida sobre los blancos. La RCS es la medida de la "detectabilidad" de un objeto por parte de un radar [1]. A mayor RCS el objeto será detectado más fácilmente.

Las firmas acústicas se basan en emplear señales acústicas a través de sistemas sónar pasivos, la RCS está asociada a sistemas radar activos, pero no hace uso de señales en la banda acústica. La técnica más parecida al empleo de señales acústicas a través de sistemas activos es la eco-localización, también conocido como biosónar, empleada por ciertos



- Una cámara anecoica.
- Dos arrays: uno de transmisión y otro de recepción, asociados a los correspondientes sistemas de amplificación y preamplificación.

La Figura 2 muestra un diagrama de bloques del sistema y de la interconexión entre los distintos subsistemas

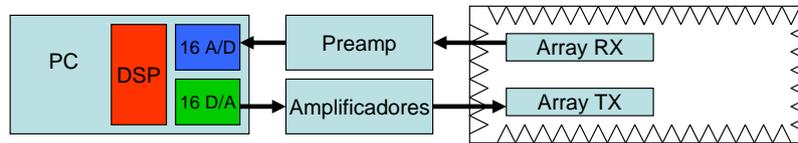


Figura 2. Diagrama de bloques del sistema de adquisición de firmas acústicas

### 3.1 Pc con Sistema de Adquisición y Procesado

Se basa en un ordenador con un procesador Pentium, que aloja una tarjeta Innovative Integration M6713, con un DSP C6713 a 300 MHz, una FPGA Xilinx Spartan-3 1.5 Mgate y dos módulos E/S Omnibus. A su vez la tarjeta M6713 tiene alojadas dos tarjetas ómnibus SD16. Estas tarjetas tienen 16 convertidores A/D y 16 convertidores D/A de 18 bits, muestreando de forma simultánea todos los canales, con frecuencias de muestreo hasta 48kHz.

### 3.2 Cámara anecoica

Se ha construido una cámara anecoica de 5x3x2.5m, formada por una estructura de soporte, sobre la que se han montado planchas de Foam de 1x1m con cuñas piramidales de dimensiones 50x50x170mm, diseñadas para una frecuencia de corte de 500Hz. Esta cámara se visualiza en la Figura 3.

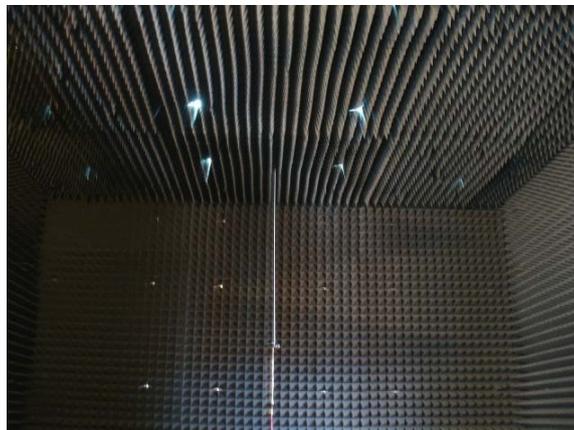


Figura 3. Cámara anecoica

### 3.3 Arrays de transmisión y recepción

Para el posicionamiento de los sensores (micrófonos y altavoces) que compondrán los arrays de transmisión y recepción, se ha seleccionado una rejilla de madera de 3.71cm de paso, de dimensiones 1x2m, que permite posicionar de forma flexible los micrófonos y altavoces.

Los micrófonos empleados en el sistema son micrófonos phonestar tipo FET. Estos micrófonos deben polarizarse de forma independiente, mediante una batería de 1,5 V por cada canal, de forma que la red de polarización está desacoplada entre canales. La salida de los polarizadores pasa a un preamplificador de audio TASCAM MH-80.

Por su parte, los altavoces, de tipo tweeter, son excitados mediante amplificadores de 4 canales de 50W por canal.

4. DISEÑO DEL ARRAY ACÚSTICO

Un paso importante del trabajo fue la realización de un estudio de la configuración de array más adecuada para los requerimientos del sistema. Era necesario un haz estrecho y un nivel de lóbulos secundarios no muy elevado en un rango de azimut de unos 30°. Tras este estudio se consideró que la configuración mostrada en la Figura 4a, da una respuesta del array acorde con las especificaciones buscadas, y por tanto ha sido la empleada tanto en el array de transmisión, como en el de recepción. En la Figura 4b se muestra la respuesta de los arrays empleados.

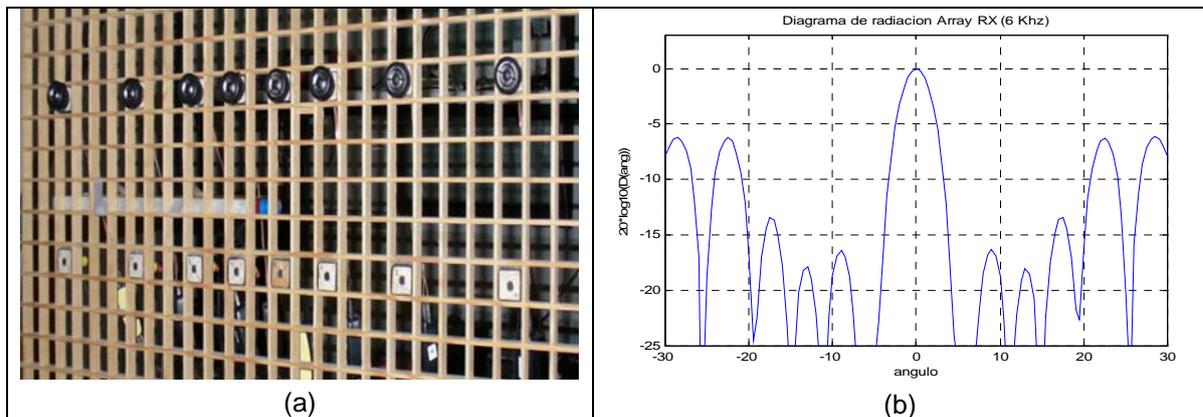


Figura 4. Arrays de transmisión y recepción empleados (a) y su diagrama de radiación/recepción (b)

También en dicho estudio se comprobó que al apuntar a direcciones diferentes al broadside (0°), el ancho del lóbulo principal no aumenta considerablemente. Y así mismo se pudo observar que para los ángulos de apuntamiento de interés (0°, 4°, 8° y 12° en azimut), el aumento del ancho de haz a 3dB era permisible, tal y como se muestra en la Tabla 1.

HPBW(°) \ Frecuencia	6kHz	5kHz	4kHz
Apuntamiento: 0°	3.7464	4.5392	5.6338
Apuntamiento: 4°	3.8023	4.6054	5.7156
Apuntamiento: 8°	3.8028	4.6364	5.7542
Apuntamiento: 12°	3.8314	4.6396	5.7581

Tabla 1. Anchos de haz para las frecuencias de 4, 5 y 6kHz, para los ángulos de apuntamiento definidos

Estos ángulos de apuntamiento se escogieron en base al ancho del haz, y a que el punto de corte de los haces principales, que se forman para cada apuntamiento, fuera a -3dB, tal y como se observa en la Figura 5:

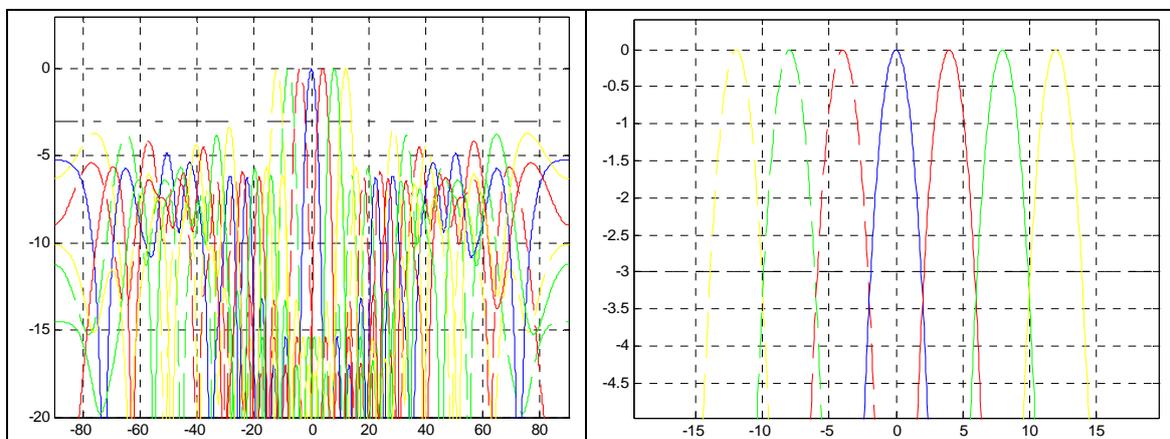


Figura 5. Corte a -3dB de los haces correspondientes a los ángulos de apuntamiento empleados

**5. OBTENCIÓN DE FIRMAS ACÚSTICAS**

Una vez escogido el número de haces (7 en este caso para cubrir los 30º en azimut de interés) y su posición, se procedió a la realización de las pruebas para la obtención de las firmas acústicas de diferentes blancos, y ver así si se lograba una diferenciación entre unos y otros.

Se escogió probar el sistema con 6 blancos, más o menos diferenciados:

- Un rulo de cartón de 2 metros de altura y 15cm de diámetro.
- Un perchero de plástico.
- Ese mismo perchero con un abrigo colgado.
- Una pizarra.
- Una persona del grupo de investigación.
- Una segunda persona del grupo de investigación.

El procedimiento seguido ha sido rastrear cada blanco con los 7 haces, y guardar la respuesta del radar de cada uno de ellos. Esas respuestas son lo que se va a emplear como firma acústica. En la Figura 6 se muestran ejemplos de estas firmas acústicas:

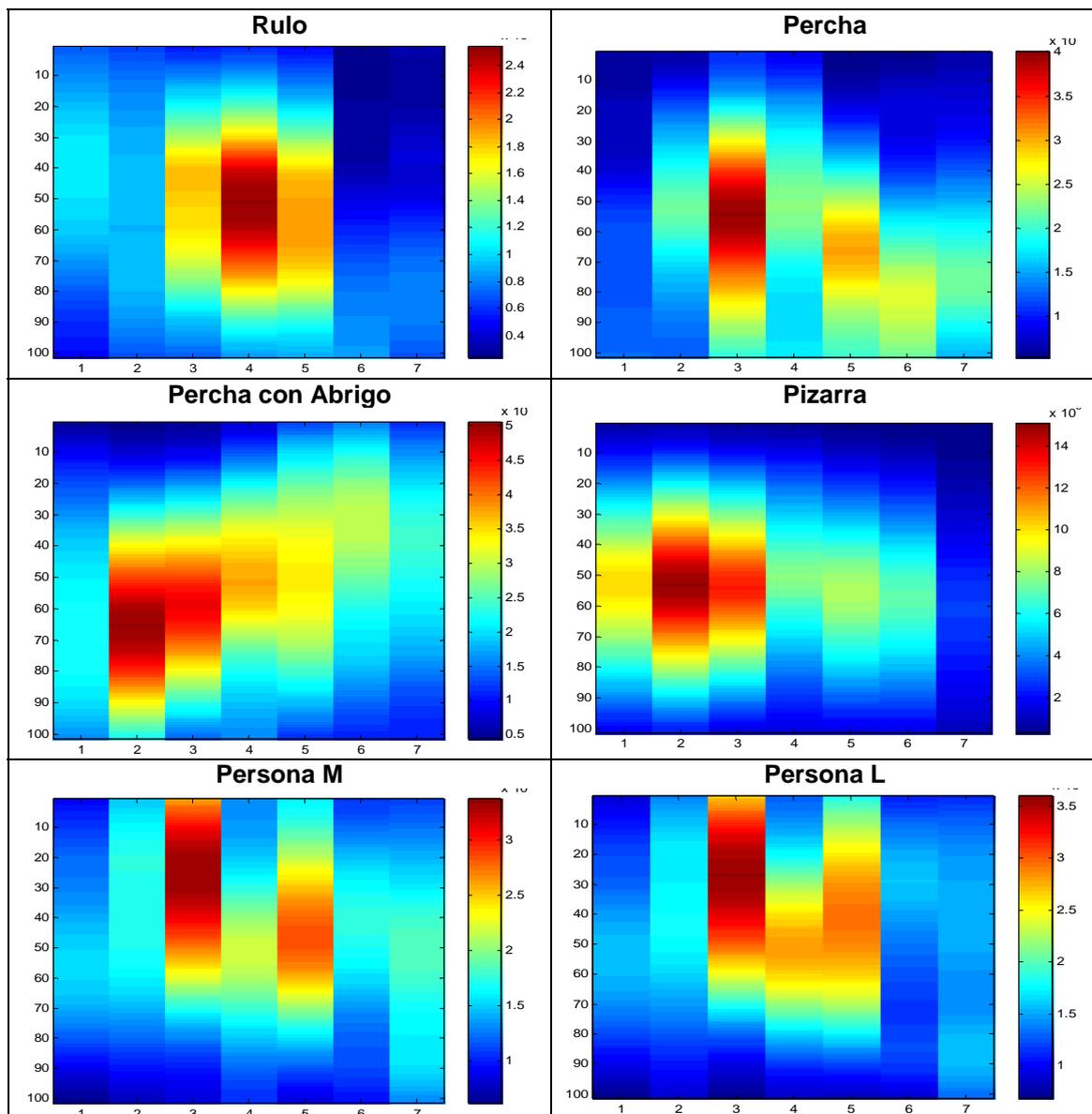


Figura 6. Firmas acústicas de los blancos empleados en el estudio

Este procedimiento se realizó repetidas veces para tener una base de datos de las respuestas acústicas de estos diferentes blancos.

Las pruebas se han realizado trabajando con una única frecuencia, en este caso la de 6kHz, dado que es la frecuencia a la que los sensores que forman el array, poseen una mejor respuesta, y además es la frecuencia para la que el haz sufre un menor ensanchamiento al variar el ángulo de apuntamiento.

## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con el fin de analizar la similitud de las firmas acústicas, bien entre varias realizaciones de un mismo tipo de objeto, o bien entre realizaciones de objetos distintos (para una posterior clasificación), se ha procedido a calcular el error cuadrático medio de la diferencia entre dos firmas ( $i$  y  $j$ , en la fórmula):

$$E(i, j) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M (I[n, m] - I[j, m])^2 \quad i, j = 1 \dots NF \quad (24)$$

siendo  $NF$  el número de firmas acústicas de la base de datos, y con  $n$  representando cada una de las  $N$  muestras tomadas de cada uno de los ecos obtenidos, para cada uno de los  $M$  haces empleados, representados cada uno de ellos a su vez por la variable  $m$ .

El objetivo del estudio es comprobar que el error será menor cuando se compara la firma de un blanco, con otra firma de ese mismo blanco, obteniendo así una identificación positiva.

En base a los resultados obtenidos de este error cuadrático medio, que se muestran en la Tabla 2, puede verse que las identificaciones se realizan correctamente para blancos totalmente diferenciados.

	Rulo	Percha	PerchaA	Pizarra	PersonaM	PersonaL
Rulo	0.0430	0.1937	0.19994	0.4108	0.2989	0.2701
Percha	0.1952	0.1742	0.0347	0.4144	0.0535	0.0430
PerchaA	0.2090	0.1900	0.1606	0.2039	0.2380	0.2396
Pizarra	0.2903	0.2730	0.2757	0.0854	0.3928	0.3498
PersonaM	0.2418	0.2127	0.0417	0.4372	0.0149	0.0190
PersonaL	0.2042	0.2280	0.0456	0.4443	0.0286	0.0377

Tabla 2. Error cuadrático medio de las firmas acústicas obtenidas

Se aprecia que cuando un blanco intenta identificarse con otro blanco totalmente diferente, (por ejemplo, el rulo de cartón, con respecto a la percha, la pizarra o la persona), la identificación es correcta. El problema se presenta cuando se intenta identificar un blanco, con otro semejante a él, por ejemplo, el caso de la percha con y sin abrigo, y el de dos personas distintas. En estos casos, la identificación la hace con su blanco análogo.

En este caso, el empleo de un array acústico, evita tener que girar mecánicamente el blanco para obtener la "firma acústica" del mismo, como ocurre en [15], ya que empleando técnicas de conformación de haz, es posible dirigir el haz de forma electrónica, incluso de trabajar con múltiples haces.

En el caso de emplear conformación para escanear el blanco y obtener así su imagen, sería necesario el empleo de al menos dos arrays, uno para obtener la imagen del blanco por delante, y otra por detrás. Con 4 arrays ya se tendrían ambas imágenes frontales y laterales del blanco, pudiéndose emplear un único array y que la posición del blanco varíe en pasos de 90°. Las técnicas de conformación no sólo permiten posicionar el lóbulo principal del haz, sino que además pueden cancelar fuentes de señal interferentes que provengan de otras direcciones espaciales, permitiendo así eliminar ruido e interferencias.

## 7. CONCLUSIONES

A partir de estos datos podemos extraer la idea de que por medio de firmas acústicas obtenidas con el empleo de una única frecuencia, se pueden distinguir blancos claramente diferenciados, pero para blancos análogos, esta diferenciación no sería viable empleando una única frecuencia.

Ya se está trabajando en la realización de las identificaciones para blancos análogos variando la frecuencia de trabajo. Una vez se realice correctamente esta identificación de blancos análogos, el siguiente paso sería la optimización del sistema para la identificación de personas dentro de una base de firmas.

## REFERENCIAS

- [1] M. Skolnik, "Introduction to Radar Systems". 3º edición. Mc Graw-Hill International Editions. Electrical Engineering Series, Singapore, 2001
- [2] H. Van Trees, "Detection, estimation and modelation theory, Part III: Radar-sonar processing and Gaussian signals in noise", New York, John Wiley, 2001
- [3] S. Stergiopoulos, "Advanced signal processing handbook: theory and implementation for radar, sonar, and medical imaging real time systems", Boca Ratón (FL, EEUU), CRC Press, 2001
- [4] D. Ricker, "Echo Signal Processing", Boston, Kluwer Academic Publishers, 2003
- [5] A. Zyweck and R. Bogner, "Radar target recognition using range profiles", Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1994. ICASSP-94., 1994 IEEE International Conference on, Vol. 11, pp. 11/373-11/376 Vol.2, 19-22 April 1994
- [6] C. Baker, M. Vespe and G. Jones, "50 million years of waveform design", Waveform Diversity and Design in Communications, Radar and Sonar, 2006. 7th Institution of Engineering and Technology Forum on, pp. 7-2 1, November 2006
- [7] A. Balleri, K. Woodbridge, C. Baker, M. Holderied, "Flower Classification by bats: radar comparisons", IEEE A&E Systems Magazine, pp: 4-7, May 2009
- [8] [http://www.ambios.net/Cecoco/seaturtles/Research\\_acoustics\\_es.htm](http://www.ambios.net/Cecoco/seaturtles/Research_acoustics_es.htm)  
El Papel de la Acústica de la Zona de Oleaje en la Anidación de las Tortugas marinas 'Olive Ridley'
- [9] R. Frank, C. Cross, L. Jensen, "Analysis of the Acoustic Signature of Dungeness Crabs (Cancer Magister)", 1971 IEEE Engineering in the Ocean Environment Conference, pp. 27-32, 1971
- [10] <http://www.elmundo.es/elmundo/2009/06/29/ciencia/1246276226.html>,  
El ser humano puede orientarse como los murciélagos y los cetáceos, Investigación de la Universidad de Alcalá de Henares
- [11] S. Kingsley and S. Quegan, Understanding Radar Systems. Mc Graw-Hill, London, UK, 1992
- [12] R. Braun, "Solar astronomy and the Square Kilometer Array Interferometer", Lecture Notes in Physics, Berlin, Springer, Vol. 483, 1997
- [13] [www.almaobservatory.org](http://www.almaobservatory.org),  
Atacama Large Millimeter Array
- [14] B. Van Veen and K. Buckley, "Beamforming: a versatile approach to spatial filtering" IEEE ASSP Magazine, pp. 4-24, Apr. 1988
- [15] D. Helversen, M. Holderied and O. Helversen, "Echoes of bat-pollinated bell-shaped flowers: conspicuous for nectar-feeding bats?", Journal of Experimental Biology, Vol. 206, No. 6, pp. 1025-1034, 2003